

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ –TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA
Institut environmentálního inženýrství

**VLIV CEMENTÁŘSKÉHO PODNIKU NA KVALITU
OVZDUŠÍ V OKOLÍ ZDROJE**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor

Bc. Ludmila Kosová, DiS.

Vedoucí diplomové práce

Ing. Jana Kodymová, Ph.D.

Ostrava 2017

VŠB – TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY
Institute of environmental engineering

**IMPACT OF CEMENT PRODUCER ON THE AIR
QUALITY OF SURROUNDINGS**

DIPLOMA THESIS

Author

Bc. Ludmila Kosová, DiS.

Supervisor

Ing. Jana Kodymová, Ph.D.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ludmila Kosová, DiS**
Studijní program: N2102 Nerostné suroviny
Studijní obor: 3904T005 Environmentální inženýrství
Téma: **Vliv cementářského podniku na kvalitu ovzduší v okolí zdroje**
Impact of Cement Producer on the Air Quality of Surroundings
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Princip výroby cementu a její vliv na ovzduší
3. Legislativa související s výrobou cementu ve vztahu k ochraně ovzduší
4. Popis posuzované společnosti
5. Emisní analýza výroby cementu (vč. souvisejících činností)
6. Analýza kvality ovzduší v okolí cementářského podniku
7. Diskuze možných opatření vedoucí ke snížení emisí cementářského podniku
8. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

LAPČÍK, V. Výrobní technologie a jejich vliv na životní prostředí. Vyd. 1. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-2015-6.
BRANIŠ, M. Základy ekologie a ochrany životního prostředí. 3., aktualiz. vyd. Praha: Informatorium, 2004. ISBN 80-7333-024-5.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jana Kodymová, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017


doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.
vedoucí institutu




prof. Ing. Jaroslav Dvořáček, CSc.
pověřený vedením fakulty

Prohlášení

Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠBTUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 28. 4. 2017

Bc. Ludmila Kosová, DiS.

Tímto bych ráda poděkovala své vedoucí diplomové práce Ing. Janě Kodymové, Ph.D. za její ochotu a cenné rady. Také bych chtěla poděkovat lidem, bez kterých by tato diplomová práce nevznikla. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat mé rodině za jejich podporu a trpělivost.

ANOTACE

Předložená diplomová práce se zabývá principem výroby cementu, výrobními procesy a technikami při výrobě cementu, dle referenčního dokumentu o nejlepších dostupných technikách (BREF) nazvaný „Průmyslová odvětví výroby cementu, vápna a oxidu hořečnatého“ z roku 2010. Dále je zde popsána platná legislativa související s výrobou cementu ve vztahu k ochraně ovzduší a popsána posuzovaná společnost. Jsou zde popsány emisní limity dle BAT pro emise prachu, emise oxidu dusíku a emise SO_2 .

Diplomová práce zpracovává a popisuje, jak cementárna ovlivňuje své okolí z hlediska emisního a imisního. V práci je provedena emisní analýza výroby cementu a analýza kvality ovzduší v okolí cementářského podniku. Data jsou zpracována od roku 2010 do roku 2014. Z vyhodnocených dat vyplývá, že nebyla zjištěna souvislost mezi naměřenými imisemi a emisní zátěží. Jsou dodržovány všechny limity, které jsou v souladu s platnou legislativou.

Klíčová slova: cement, referenční dokument BREF, emise prachu, emise NO_x , emise SO_2 , emisní analýza, analýza kvality ovzduší, imise.

ANNOTATION

The diploma thesis deals with the principle of production of cement, production processes and techniques of cement production according to the BREF reference document entitled “Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries” from 2010. In addition, it describes valid legislation related to cement production concerning protection of the atmosphere and the described assessed company. It also describes emission limits according to BAT for emissions of dust, carbon oxide and SO₂.

The diploma thesis processes and describes how the cement plant influences its surroundings from the point of view of emissions and air pollutants. The thesis contains an emission analysis of the cement production and the air quality analysis in the surroundings of the cement plant. The data processed was collected in years 2010 – 2014. The evaluation of the data reveals that there is no relation between the measured emission and air pollutant load. All limits are met in accordance to the valid legislation.

Key words: cement, reference document BREF, dust emissions, NO_x emissions, SO₂ emissions, emission analysis, air quality analysis, air pollutants

OBSAH

1. ÚVOD	1
2. PRINCIP VÝROBY CEMENTU A JEJÍ VLIV NA OVZDUŠÍ	2
2.1 Výrobní procesy a techniky používané při výrobě cementu.....	4
2.2 Paliva – skladování a příprava	7
2.3 Využití odpadů.....	9
2.4 Výpal slínku	14
2.5 Pecní odpadní plyn.....	20
2.6 Společná výroba elektřiny a tepla	23
2.7 Mletí a skladování cementu	23
2.8 Emise do ovzduší	27
3. LEGISLATIVA SOUVISEJÍCÍ S VÝROBOU CEMENTU VE VZTAHU K OCHRENĚ OVZDUŠÍ	28
3.1 Legislativa.....	28
3.2 IPPC	29
3.3 BREF	30
3.3 BAT	30
3.4 Limity emisí dle BAT	30
4. POPIS POSUZOVANÉ SPOLEČNOSTI	33
4.1 Technologie při výrobě cementu v posuzované společnosti	34

5. EMISNÍ ANALÝZA VÝROBY CEMENTU (VČ. SOUVISEJÍCÍCH ČINNOSTÍ).....	37
5.1 Výsledky měření emisí	39
6. ANALÝZA KVALITY OVZDUŠÍ V OKOLÍ CEMENTÁŘSKÉHO PODNIKU	41
6.2 Porovnání korelací se směrem větru.....	43
7. DISKUZE MOŽNÝCH OPATŘENÍ VEDOUcí KE SNÍŽENÍ EMISÍ CEMENTÁŘSKÉHO PODNIKU	47
8. ZÁVĚR	51
9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	54
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	56
SEZNAM GRAFŮ	60
SEZNAM PŘÍLOH.....	60

1. ÚVOD

V diplomové práci se zabývám principem výroby cementu. Výrobními procesy a technikami při zpracování cementu. Cementářský průmysl je z globálního hlediska jedním z nejvíce energeticky náročných. Vznikají zde emise prachu, CO_2 , NO_x , SO_2 a těžké kovy, které jsou považovány za znečišťující látky životního prostředí. Ve všech odvětvích průmyslu je v posledních letech kladen důraz na snížení celkových emisí. Z tohoto důvodu se stále zpřísňují legislativní předpisy a normy. Nejvíce emisí vzniká ve stavebnictví při výrobě stavebních hmot, které jsou součástí každodenního využívání. Portlandský cement je jeden z nejdůležitějších stavebních materiálů.

V dané cementárně zanalyzuji měření emise prachu, NO_x , SO_2 v letech 2010 až 2014. Tato měření porovnám s limity stanovené danou legislativou vztaženou, jak k výrobě cementu, tak ve vztahu k ochraně ovzduší. V další části porovnám procesy a techniky výroby cementu, s důrazem na výstupy používaných rotačních pecí v dané cementárně.

Pro porovnání v korelační analýze a následné vyhodnocení využiji „Vyhodnocení kvality ovzduší“ pro relevantní období provedené Českým Hydrometeorologickým Ústavem. Výsledkem korelační analýzy naměřených hodnot bude určení závislosti emisí a imisí a důsledků z těchto závislostí plynoucích, určení rizik v případě zvýšených hodnot pro kvalitu ovzduší v okolí dané cementárny.

Cílem diplomové práce bude zjistit, jak cementárna ovlivňuje své okolí z hlediska emisního a imisního. Jestli jsou dodržovány zákonné limity při výrobě cementu ve vztahu k ochraně ovzduší. Bude provedena emisní analýza výroby cementu a analýza kvality ovzduší v okolí cementářského podniku. Pokud to bude nutné, budou navržena opatření, které povedou ke snížení emisí v závodu. Cementářský podnik jsem si vybrala z důvodu, že se nachází v blízkosti mého bydliště a chci zjistit, do jaké míry ovlivňuje jeho provoz kvalitu ovzduší.

2. PRINCIP VÝROBY CEMENTU A JEJÍ VLIV NA OVZDUŠÍ

Cement je mletý, nekovový, anorganický prášek. Když se smíchá s vodou, tvoří kaši, která tuhne a tvrdne. K hydraulickému vytvrzení dochází z důvodu tvorby hydrátů křemičitanu vápenatého jako výsledku reakce mezi záměsovou vodou a složkami cementu. U hlinitanových cementů hydraulické tvrdnutí zahrnuje vytváření hydrátů hlinitanu vápenatého [1]. Podle Jana Hlaváče je cement definován jako „*hydraulické práškové pojivo (maltočina), jehož účinnými složkami jsou sloučeniny CaO (oxid vápenatý), SiO_2 (oxid křemičitý), Al_2O_3 (oxid hlinitý) a Fe_2O_3 (oxid železitý), popřípadě jiné sloučeniny podobného typu*“ [2].

Cement je základním materiálem pro stavbu inženýrské stavby a budovy. V Evropě lze vysledovat používání cementu a betonu (je to směs cementu, šterku, písku a vody) ve středověku. Portlandský cement, který je nejpoužívanější, byl patentován v roce 1824. Používání hydraulických pojiv se datuje již z doby 700 let před naším letopočtem. Výrobou cementu se zabývaly středomořské národy, kromě Řeků a Féniciánů hlavně Římané. K výrobě cementu používali směs složenou ze sopečného popele a z vyhašeného vápna [3]. Cementářský průmysl je spjat s celkovým stavem stavebnictví, a proto sleduje celkovou hospodářskou situaci [1].

V roce 2006 se světová výroba cementu pohybovala na úrovni 2 540 milionů tun. Celkové zvýšení produktivity je výsledkem zavedení větších výrobních jednotek, které využívají pokročilou automatizaci provozu, a vyžadují menší počet vysoce kvalifikovaných zaměstnanců. Počet obyvatel zaměstnaných v průmyslovém odvětví výroby cementu se v roce 2005 pohyboval kolem 54 000. V roce 2006 výroba cementu v Evropské unii byla 267,5 milionů tun a spotřeba činila 260,6 milionů tun. 38 milionů tun cementu bylo dovezeno a 23 milionů tun bylo vyvezeno. Tyto čísla ukazují na obchod mezi státy EU [1].

Společnosti Lafarge, Holcim, Cemex, HeidelbergCement a Italcementi patří mezi pět největších světových producentů cementu. Tyto společnosti zabývají dalším odvětvím stavebního materiálu, jako je šterk, betonové výrobky, sádkokarton atd. [1].

Cement se obvykle dodává svým zákazníkům v EU prostřednictvím silniční dopravy. Maximální vzdálenost pro přepravu cementu po silnici je 200 až 300 km. Když se cementárna nachází blízko vody je využívána námořní doprava [1].

V Evropské unii je asi 268 provozů vyrábějících cementový slínek a hotový cement. Máme dvě výroby slínku (pece) bez mlýnů a 90 mlecích provozů (cementových mlýnů) bez pecí (cementové mlýny bez pecí). Ve státech Evropské unie je celkem 377 pecí. Velikost pecí bývá kolem 3 000 tun slínku denně. Většina pecí má kapacitu na 5 000 tun slínku denně. V roce 2007 okolo 90 % evropské produkce cementu pochází z pecí se suchým procesem. 7,5 % produkce připadá na pece s polosuchým a polomokrým procesem. Kolem 2,5% pochází z pecí s mokřým procesem. Volba výrobního postupu je dána povahou surovin, které jsou k dispozici. Vyrábí se také bílý cement, který kromě barvy má stejné vlastnosti jako portlandský šedý cement. Při výrobě bílého cementu se používají materiály, které nemají negativní účinek na barvu tohoto speciálního typu cementu. Je zde velký rozdíl v obsahu Fe_2O_3 s ohledem na rozmezí šedého cementu [1].

Průmyslové odvětví výroby cementu je energeticky náročné. Energie představuje zhruba 40 % provozních nákladů. Tradičním palivem bylo primárně používáno fosilní uhlí. Dále se používá celá škála dalších pevných, kapalných či plyných fosilních paliv, jako je petrokoks, lignit, zemní plyn a topný olej (těžký, středně těžký nebo lehký). Kromě těchto fosilních paliv se v průmyslovém odvětví výroby cementu využívá velké množství paliv z odpadů a biomasy [1].

Emise z cementáren jsou prach, oxidy dusíku (NO_x) a oxid siřičitý (SO_2). Při výrobě také vznikají další emise – těkavé organické látky (VOC), polychlorované dibenzo-p-dioxiny (PCDD) a dibenzo-furany (PCDF), jakož i chlorovodík (HCl). Dále emise oxidů uhlíku (CO , CO_2), fluorovodíku (HF), amoniaku (NH_3), benzenu, toluenu, ethylbenzenu a xylenu (BTEX), polyaromatických uhlovodíků (PAH), kovů a jejich sloučenin, hluk a pach [1].

Průmyslové odvětví výroby cementu řadíme mezi kapitálově nejnáročnější odvětví. Rentabilita průmyslového odvětví výroby cementu je okolo 10 %. Tato hodnota

je počítána jako podíl z obrátu (na základě zisku před zdaněním a před splátkami úroků) [1].

2.1 Výrobní procesy a techniky používané při výrobě cementu

Chemická reakce při procesu výroby cementu začíná rozkladem uhličitanu vápenatého (CaCO_3) při zhruba $900\text{ }^\circ\text{C}$, tím se uvolňuje oxid vápenatý (CaO , vápno) a uniká plyný oxid uhličitý (CO_2). Tento proces nazýváme jako kalcinace. Poté následuje proces slinování, při kterém oxid vápenatý reaguje při vysoké teplotě (obvykle $1\,400$ až $1\,500\text{ }^\circ\text{C}$) s oxidem křemičitým, hlinitým a železitým na křemičitany, hlinitany a železitany vápenaté, které vytvářejí slínek. Ten se potom drtí nebo mele spolu se sádrovcem a jinými přísadami, čímž se vyrábí cement [1].

„Existují čtyři hlavní způsoby výroby cementu – suchý, polosuchý, polomokrý a mokrý proces“ [1]. Při suchém procesu se surovina mísí za sucha, při mokřém procesu ve vodní suspenzi. Při mokřém procesu vzniká kal, ze kterého je nutno s vynaložením tepla vodu odstranit. Na druhé straně probíhá mletí a mísení ve vodní suspenzi [2]. U polosuchého procesu se suchá surovinová moučka granuluje s vodou. Přidává se do roštového přehřívače před pecí. Dá se také použít do dlouhé pece vybavené řetězy. U polomokrého procesu se ve filtračních lisech ze surovinného kalu odstraní voda. Z filtračního koláče se lisují granule, které se dávají do roštového přehřívače, nebo přímo do sušičky filtračního koláče na výrobu surovinové moučky [1].

Výběr procesu je určován stavem surovin (suché nebo mokré). Velká část světové produkce slínku je stále založena na mokřém procesu. V Evropě je díky dostupnosti suchých surovin více než 90 % produkce založeno na suchém procesu. Mokré procesy jsou energeticky náročnější a dražší. U provozů používajících polosuchý proces je pravděpodobné, že přejdou na suché technologie. Jakmile bude požadováno rozšíření nebo zdokonalení. Závody používající mokrý nebo polomokrý proces mají přístup jen k mokřým surovinám – např. v Dánsku a v Belgii a do určité míry ve Spojeném království [1].

Hlavními operace při výrobě cementu jsou – drcení, mletí, mísení surovin, tepelné zpracování surovin na slínek, mletí slínu a příměsí na cement [2]. Následují

podprocesy – skladování a příprava surovin a paliva, použití odpadů jako surovina nebo paliva, pecní systémy, skladování a příprava produktů, balení a expedice [1].

Výroba bílého cementu je podobná výrobě šedého cementu. Tento proces zahrnuje výběr surovin, skladování a přípravu. Skladování a přípravu paliv, pálení slínku v pecním systému, bělení, chlazení a mletí. Tyto procesy jsou přísně sledovány, aby bylo možno zabránit kontaminaci a nežádoucím změnám produktu. Hlavním technologickým rozdílem je kombinace chlazení a bělení. Tyto kroky se používají, aby se zlepšila bělost cementu a aby byla zajištěna jednotná barva [1].

Suroviny a jejich získávání

Zdrojem uhličitanu vápenatého jsou přírodní vápenité usazeniny, jako je vápenec, slín nebo křída. Oxid křemičitý, železitý a hlinitý se nacházejí v různých rudách a nerostech, např. písek, břidlice, jíl a železná ruda. Získávání přírodních materiálů zahrnuje důlní a těžební činnosti. Materiály se nejčastěji získávají z otevřených povrchových lomů. Činnosti pro získávání surovin zahrnují vrtání skal, trhací práce, bagrování, dopravu a drcení. Hlavní suroviny, jako je vápenec, křída, slín a lupek, se dobývají v lomech. Většina lomů je poblíž výrobního provozu. Po procesu drcení se suroviny přepravují do cementárny ke skladování a další přípravě. Další suroviny, jako je železná ruda, bauxit, slévárenský písek, vysokopecní struska se přivážejí odjinud. Suroviny musí splňovat charakteristiky, které jsou nezbytné pro proces výpalu slínku. Musí obsahovat potřebné chemické prvky a složky. Suroviny obsahují také množství kovů. Při výrobě bílého cementu je zásadní dostupnost velmi čistých surovin., jedná se hlavně o čistotu zdrojů Si, Ca a Al. Vybírají se suroviny (např. velmi čistý vápenec, typy bílých jílu, kaolín, křemenný písek, živec, rozsivková zemina) s nízkým obsahem kovů, jako je železo a mangan. Oxidy kovů ovlivňují bělost produktu. Jsou jedním z určujících faktorů. Pro výrobu bílého cementu je důležité chemické složení surovin. Poměr surovin musí splňovat požadavky procesu výpalu. Pro zlepšení palitelnosti se používají mineralizátory, jsou to tavidla – fluoridy (obvykle CaF_2) [1].

Skladování surovin

Kryté sklady jsou závislé na klimatických podmínkách a na objemu drobné frakce v surovině opouštějící drticí zařízení. Surovina, která je přivedena do pecního systému musí být chemicky co možná nejhomogennější. Toho dosáhneme řízením vstupu do mlecího zařízení suroviny. Pokud jakost materiálu z lomu kolísá, homogenizace dosáhneme kupením materiálu do pásů nebo vrstev podél skladu (nebo podél jeho obvodu) a jeho příčným odebíráním ze skládky. Suroviny používané v relativně malém množství, např. nerostné přísady, je možno skladovat v bunkrech nebo v silech. Suroviny s vlastnostmi nebezpečnými pro veřejné zdraví a životní prostředí se musí skladovat a připravit dle specifických požadavků [1].

Mletí surovin

V cementárnách se používají bubnové mlýny s mlecími tělesy, pracují v otevřeném nebo uzavřeném okruhu spojení s třídíči. Rozdrcené suroviny se do mlýna dávkuje suché v požadovaném poměru talířovými nebo pásovými dávkovači [2].

Pro dosažení konzistentního chemického složení je důležité přesné měření. Důležité je také dávkování složek přiváděných do mlýna. Dávkování a měření je také důležitým faktorem energetické účinnosti mlecího systému. Při výrobě bílého cementu se při mletí dává pozor na to, aby se zabránilo proniknutí cizorodých kousků (kovy způsobující zbarvení). Důležitá je volba mlecích těles a vyložení mlýna, aby se zabránilo kontaminaci surovinové směsi železem. Na důležité části zařízení se používají speciální oceli nebo keramické materiály. Pro zlepšení bělosti se používá regulace obsahu vlhkosti surovinové směsi. Také se zkracuje doba mletí povrchově aktivních příměsí. Někdy se při konečném stádiu přípravy procesu mletí suroviny doporučuje granulační zařízení a to v případě, že se pro výpal, používá pec s fluidním ložem [1].

Mletí surovin – suché a polosuché pecní systémy – suroviny se v kontrolovaných poměrech společně melou a mísí. Tím vytváří homogenní směs s požadovaným chemickým složením. Pro suché a polosuché pecní systémy se složky surovin melou a suší na jemný prášek. Využívají se hlavně výstupní plyny z pece nebo

odpadní vzduch z chladiče. U surovin s relativně vysokým obsahem vlhkosti může být zapotřebí pomocné topeniště k dostatečné produkci tepla [1].

Používané mlecí systémy jsou: „*trubnatý mlýn s centrálním vyprazdňováním, trubnatý mlýn se vzdušným oběhem, vertikální válcový mlýn, horizontální válcový mlýn (v provozu je pouze několik zařízení). V menší míře se mohou použít: trubnatý mlýn s koncovým vyprazdňováním v uzavřeném okruhu, autogenní mlýn, válcový lis s drtiči (sušičkami)*“ [1].

Mletí surovin – mokré nebo polomokré pecní systémy – mokré mletí se používá v kombinaci s mokkými nebo polomokkými pecními systémy. Suroviny se melou s přidanou vodou do podoby kalu. Aby se dosáhlo požadované jemnosti kalu, jsou mlecí systémy v uzavřeném okruhu. Pokud má surovina větší obsah vlhkosti než 20 % hmotnosti dává se přednost mokrému procesu. Jedná se o suroviny jako křída, slín nebo jíl. Voda a drcený materiál se přivádějí do rozplavovacího mlýna. Až je materiál dostatečně jemný, prochází sítí ve stěně rozplavovacího mlýna a čerpá se do skladovacího prostoru. Vyžaduje se delší mletí v trubnatém mlýně, zejména pokud se mají přidávat další suroviny, jako je písek. Tím se dosáhne požadované jemnosti kalu [1].

Homogenizace a skladování surovinové moučky a kalu – před vstupem do pecního systému vyžaduje surovinová moučka nebo kal opouštějící proces mletí další homogenizaci. Tím dosáhneme optimální konzistence. Surovinová moučka se homogenizuje a skladuje v silech. Surovinový kal se skladuje buď v nádržích anebo v silech. K dopravě surovinové moučky do skladovacích sil se používají mechanické a pneumatické systémy. Používaným dopravním systémem je kombinace pneumatických nebo šnekových a řetězových dopravníků s korečkovými dopravníky [1].

2.2 Paliva – skladování a příprava

Může použít různých druhů paliv za účelem dodání tepla požadovaného výrobního procesu. Používáme hlavně konvenční paliva, jako jsou: „*pevná paliva, např. uhlí, petrolkoks a lignit a v některých případech olejnatá břidlice. Kapalná paliva, např. topné oleje včetně mazutu (TTO). Plynná paliva, např. zemní plyn*“ [1].

Hlavní složkou popelu těchto paliv jsou sloučeniny oxidu křemičitého a hlinitého. Popely mohou obsahovat stopy kovů. Ty kombinujeme se surovinami tak, aby se staly součástí slínku. Musíme brát v úvahu při výpočtech složení suroviny, a proto se většinou používá palivo se stabilním, i když ne nezbytně nízkým obsahem popelu [1].

Hlavními fosilními palivy, které se používají v evropském odvětví výroby cementu jsou petrolekoks a uhlí. Náklady obvykle vylučují použití zemního plynu nebo oleje. Volba paliv závisí na místní situaci. Vysoké teploty a dlouhé doby pobytu v pecním systému v sobě zahrnují potenciál rozkladu organických sloučenin. Díky tomu máme široké množství levnějších paliv, které můžeme použít. Jedná se o různé typy odpadů. Využívání odpadů se v posledních letech zvyšuje. Aby byly tepelné ztráty udrženy na minimu, jsou cementové pece provozovány na nejnížší úrovni přebytku kyslíku. To vyžaduje přísně jednotné a spolehlivé odměřování paliva a dodání paliva způsobem, který umožní snadné a úplné spalování. Tyto podmínky splňují všechna kapalná a plynná paliva. Aby práškové pevné paliva splňovala tyto podmínky, je důležitá dobrá konstrukce násypky, dopravníků a podavačů. Vsázka paliva 65 – 85 % musí obsahovat snadno spalitelných paliv. Zbývajících 15 – 35 % může být přiváděno ve formě hrubé drti. Při výrobě bílého cementu se musí palivo vybírat velmi pečlivě. Tím se vyhneme prvkům v popelu paliva, které by se mohly sloučit se slínkem a mohly by změnit požadovanou barvu bílého cementu [1].

Skladování konvenčních paliv – surové uhlí a petrolekoks se skladují v krytých skladech. Venkovní skladování ve velkých, zhutněných haldách se používá pro dlouhodobé zásoby. Haldy mohou být osety travou, aby se zabránilo erozi vlivem větru a dešťové vody. Při skladování uhlí s poměrně vysokým obsahem těkavých látek (zásobní haldy) se řídíme osvědčenými postupy, aby se při dlouhodobém skladování předešlo riziku samovznícení. Práškové uhlí a petrolekoks se skladují výhradně v silech a to z bezpečnostních důvod. Hrozí nebezpečí výbuchů vyvolaných doutnáním a přeskoky výbojů statické elektřiny. Tyto sily musí být samospádného odběrného typu a jsou standardními bezpečnostními zařízeními. Topný olej se skladuje ve vertikálních ocelových nádržích. Ty jsou někdy izolované. Tím napomáháme udržení topného oleje při čerpatelné teplotě (50 až 60 °C). Také mohou být vybaveny ohřívacími sacími hrdly, aby se topný

olej místně udržoval při správné teplotě. V cementárně neskladujeme zemní plyn. Jako zásobník plynu funguje mezinárodní vysokotlaká plynová rozvodná síť [1].

Příprava konvenčních paliv – pevné paliva se připravují (drcení, mletí a sušení) obvykle na místě. Petroklas a uhlí se melou na prášek přibližně stejné jemnosti, jakou má surovinová moučka. Melou se v mlýnech podobných mlecím zařízením na surovinu. Jemnost práškového paliva je důležitá – příliš jemné palivo může vyvolat nadměrně vysokou teplotu plamene. Když je palivo příliš hrubé, může docházet ke slabému hoření. Nízký obsah těkavých látek v pevném palivu vyžadují jemnější mletí. Nemáme-li k dispozici dostatečně horký vzduch pro sušení, který využíváme z pece nebo chladiče, používáme pomocné kotle. Aby bylo zařízení chráněno před požárem a výbuchy, musí mít speciální vlastnosti [1].

„Používáme tři typy mletí a rozmělnování: trubnatý mlýn se vzdušným oběhem, vertikální mlýn s válci nebo koulemi a odrazový mlýn“ [1]. Mleté pevné palivo může být dopravováno ke spálení v peci. V moderních provozech se skladuje v silech, aby se umožnilo použití tepelně účinnějších hořáků (nepřímé spalování), obvykle se využívá malé množství primárního vzduchu. Systém mletí, skladování a spalování pevného paliva musí být konstruován a provozován tak, aby se zabránilo riziku výbuchu nebo požáru. Kontroluje se teplota vzduchu a zabráňuje se hromadění jemného materiálu na kritických místech vystavených teplu. Topné oleje se připravují za účelem usnadnění dávkování a spalování. Topný olej se ohřívá na 120 - 140°C, a to má za následek snížení viskozity na 10 - 20 cSt. Tlak se zvyšuje na 20 - 40 barů. Před spalováním zemního plynu je nutno snížit tlak plynu přiváděného plynovodem z 30 - 80 barů na tlak v síti výrobního závodu 3 - 10 barů. Poté se opět sníží asi na 1 bar (přetlaku) pro přívod k hořáku. První stupeň redukce tlaku probíhá v předávací stanici plynu, zde se provádí měření spotřeby. Pro zabránění zamrzání zařízení v důsledku Jouleova-Thomsonova efektu, zemní plyn přehříváme před průchodem tlakovým redukčním ventilem [1].

2.3 Využití odpadů

V Evropě se využívá značná část paliv z odpadů. V některých výrobních závodech nahrazují fosilní paliva až na úroveň vyšší než 80 %. Tím dojde k snižování

emisí skleníkových plynů a k nižší spotřebě přírodních zdrojů. Z důvodu zákazu skladování nezpracovaných odpadů v některých členských státech EU, vedlo k tomu, že se do provozu uvádí rostoucí počet mechanických a mechanicko-biologických zařízení na zpracování odpadu. Díky tomu se zvýšil zájem o problematiku využití předzpracovaných odpadových frakcí. Po vhodném zpracování mohou jednotlivé části odpadů splňovat požadavky na opětovné využití v cementárnách. Průmyslové odvětví výroby cementu se mnoho let angažuje při využití vybraných toků odpadů v cementárnách [1].

Použití odpadů jako suroviny – důležitá je chemická vhodnost odpadů používaných jako suroviny. Musí obsahovat chemické složky pro výrobu slínku. Požadovanými chemickými složkami je křemík, vápník, železo, hliník, síra a alkálie. Použití odpadů jako surovin v procesu výpalu slínku zahrnuje substituci síry a oxidů, které jsou obsaženy v odpadech. Jedná se o oxid vápenatý (CaO), oxid křemičitý (SiO_2), oxid hlinitý (Al_2O_3) nebo oxid železitý (Fe_2O_3). Vysokopecní strusku a elektrárenský popílek lze používat jako částečnou náhradu přírodních surovin. Další odpadní materiály jsou dodávány jako polomleté přísady do mlecích provozů. Popílek můžeme použít jako surovinu při výrobě slínku (hlavně kvůli jeho obsahu hliníku) nebo jako pololetou přísadu při společném mletí cementu. Popílek může nahradit až 50 % slínku v portlandském cementu. Popílek může obsahovat rtuť. Hodí se také vhodný průmyslový sádrovec k použití jako složka obsahující sulfáty. Popel z odpadních paliv dodává cementovému slínku nerostné složky. Při fázi předehřívání se ve výměníku mohou uvolňovat organické složky z pecní vsázky kvůli nízkým teplotám. Musí se vždy kontrolovat potenciální emise těkavých organických složek a musí být odpovídajícím způsobem zvoleno místo dávkování, např. hořák pece. Konvenční paliva, jako jsou fosilní paliva, mohou být nahrazena odpadními palivy. Odpadní materiály mohou být pevné, kapalné nebo pastovité a jsou definovány svým původem [1].

Typy odpadních paliv – proces výpalu slínku nabízí dobré podmínky pro použití různých typů odpadních materiálů jako náhradu konvenčních paliv. Tyto výhřevné odpadní materiály mohou v cementářských pecích nahradit primární palivo. Velmi důležitá je konzistentní kvalita odpadu (např. průměrná výhřevnost, nízký obsah kovů, halogenů (např. chlóru) a popela). Odpad musí být vhodný pro hořáky [1].

Pevná paliva z odpadů – ne každý spalitelný pevný odpad je vhodný jako palivo při procesu výpalu slínku. Pevný odpad může být homogenní nebo nehomogenní směsí odpadů velmi odlišného původu a složek. Jsou to: „*spalitelné frakce, např. papír, lepenka, plasty, guma a zbytky dřevní hmoty. Proměnlivé množství inertních materiálů obsahující organické frakce, např. kámen, písek, železné a neželezné kovy, vlhké organické materiály. Nebezpečné frakce jsou pryskyřice, dehet, impregnované piliny*“ [1].

Odpad, který použijeme, jako palivo musíme předem zpracovat v zařízeních odpadového hospodářství. Jedná se o směsný komunální odpad, směsný obchodní odpad nebo směsný stavební, demoliční odpad a některé pevné nebezpečné odpady. Rozsah činností úpravy odpadu (třídění, drcení a peletizace) závisí na použití odpadního paliva [1].

Techniky přípravy pevných paliv se liší v závislosti na zdroji a typu odpadu. Také závisí na požadavcích průmyslového odvětví výroby cementu. **Hlavní spalovací systém** (nachází se u hlavy a výstupu z pece, dávkování odpadních paliv pomocí přívodních trubek). Vysoce abrazivní odpady (sušený kal, neobvyklé tvary) mohou způsobit provozní problémy. Pokud se pro dopravu pevného odpadního paliva do pece používají pneumatické přepravní systémy, může dojít k ucpání a poškození rotujících dílů. Velké velikosti částic vyžadují velké pneumatické dopravníkové linky a dmýchadla. Proto je důležité zmenšit velikost částic. **Sekundárního spalovací systém** (palivo přivádíme přes vstupní otvor do pece, je přiváděno stoupacím potrubím mezi vstupem rotační pece a nejnižším stupněm cyklonu nebo kalcinátoru). Není důležité omezení velikosti částic pevných odpadních paliv. Technologií vstupu do pece nebo do středu pece se mohou dávkovat dokonce i celé pneumatiky. Navíc lze používat odpady s vysokým obsahem popelu [1].

Kapalná paliva z odpadů – lze připravit mísením nebo předeřhříváním různých odpadů. Používají se rozpouštědla, zbytky nátěrových hmot, odpadní oleje s vhodnou výhřevností ve speciálních zařízeních odpadového hospodářství. Při manipulaci s kapalnými odpadními palivy musíme dávat pozor na nebezpečnost odpadu, aby se vyhnulo emisím organických sloučenin. Existuje několik technik, např. regenerace par, která se používá tam, kde je to potřebné [1].

Požadavky na kvalitu odpadů

Odpadní materiály používané jako suroviny nebo jako paliva v cementářských pecích musí dosahovat určitých jakostních norem. Popely z paliv jsou vázány v slínku, čím se minimalizuje negativní dopad na emise do ovzduší. Důležitá je konstantní jakost odpadu. Systém řízení kvality nám umožňuje garantovat vlastnosti odpadních paliv. Ten zahrnuje opatření pro odběr vzorků, přípravu vzorků, analýzu a externím monitorování. Musíme brát v úvahu také požadavky stávajících evropských a vnitrostátních předpisů. Při spalování odpadů musí být splněny požadavky směrnice o spalování odpadů (WID).

„Základním pravidlem u požadavků na jakost platí, že odpady akceptované jako paliva nebo suroviny musí cementářské peci přinášet následující přidanou hodnotu a to, výhřevnost z odpadního materiálu a materiálovou hodnotu z odpadního materiálu“ [1].

Odpady s odpovídající výhřevností mohou být v cementářských pecích nahrazeny primárním palivem. Výhřevnost těchto odpadů se velmi liší. Příprava různých typů spalitelných odpadů nebo odpadů s oddělitelnými výhřevnými frakcemi pro použití jako palivo se provádí mimo cementárnu. Většinou jsou připraveny dodavatelem nebo specializovanou organizací na zpracování odpadů ve speciálních zařízeních odpadového hospodářství tak, aby mohly být přímo použity v cementářských pecích bez jakéhokoli dalšího zpracování v cementárně. Dodaný odpadní materiál se před použitím v cementářské peci pravidelně kontroluje a analyzuje personálem cementárny. Ke kontrole parametrů se používá speciální laboratorní zařízení [1].

Používané techniky k přípravě a mísení určitých kvalit odpadního paliva závisí na vlastnostech materiálových vstupů a také na požadavcích uživatelů. Specifické odpady pro danou výrobu, se zpracovávají a mísí v zařízeních na úpravu odpadů. Musí být zajištěna homogenní směs s konstantními vlastnostmi, jako je chemické složení a tepelné vlastnosti. Některé odpady mohou být zpracovány, tak jak jsou dodávány, např. použité pneumatiky či použitý olej. Nehomogenní odpady, jako jsou smíchané pevné odpady z různých zdrojů nebo oddělené části směsného komunálního odpadu, vyžadují větší úsilí při monitorování. Musí být zachována spolehlivá kvalita spolu s konstantním nízkým vstupem škodlivin [1].

Důležitými parametry a vlastnostmi odpadních paliv je výhřevnost spolu s obsahem vody, popela, síry, chloru a těžkých kovů (zejména rtuti, kadmia a thalia). Důležitá je vhodnost pro hořáky. Negativní dopad na výrobní proces může mít chlór. Akceptovatelná koncentrace chlóru záleží na konkrétní situaci v daném místě. Udrží se na co možná nejnížší úrovni, aby bylo možné vyhnout se provozním problémům v pecním systému. Pokud je ve vstupech vysoký objem chlóru, je nezbytný chlorový bypass, aby bylo možno předejít korozi, zablokování, odstávkám atd. Koncentrace chlóru se pohybují od $< 0,5 - 2 \%$. V EU byly vyvinuty jednotlivé systémy a specifikace pro hodnocení a regulaci vhodnosti odpadních paliv. Další používané systémy se zaměřují hlavně na obsah kovů. Při používání kalů z čistíren odpadních vod nebo dřevního odpadu je nutno pravidelně sledovat obsah rtuti. Sledujeme kvůli možným emisím rtuti. Palivo z odpadů musí být k dispozici v dostatečném množství. Při výběru paliv (konvenčních nebo odpadů) by měly být brány v úvahu kvalitativní požadavky na výrobky. Existují limity ohledně typů a množství odpadů vhodných pro použití při výrobě cementu. Ty jsou značně závislé na okolnostech specifických pro dané místo [1].

Koncentrace kovů v odpadech – se liší spolu s původem odpadu. V evropských zemích regulační orgány či představitelé odvětví vytvořili seznam maximálních přípustných hodnot látek pro různé odpady, které se používají jako palivo nebo suroviny. Kriteria obsahují: *„vnitrostátní zásady politiky a legislativu v oblasti životního prostředí. Důležitost dopadu na průmyslové odvětví výroby cementu v kontextu regionálního průmyslového rozvoje. Úsilí o harmonizaci regionálních zákonů a norem v oblasti životního prostředí. Úrovně látek v tradičních surovinách a odpadech. Podmínky výrobního závodu a emise. Alternativy zpracování u dostupných odpadů. Požadované minimální hodnoty výhřevnosti. Požadavky na jakost cementu“* [1].

Skladování odpadů

Paliva z odpadů se připravují ve speciálních zařízeních odpadového hospodářství. Dodané odpady musí být uskladněny v cementárně. Poté jsou rozděleny ke vsázce do cementářské pece. Jelikož zásoby odpadů vhodných k použití jako palivo mají

kolísavou tendenci, navrhuji se víceúčelové provozy na skladování s přípravou. Kapalná paliva z odpadů jsou většinou nebezpečné odpady, proto musíme dbát bezpečnosti při manipulaci s kapalnými odpadními palivy [1].

2.4 Výpal slínku

Výpal slínku je nejdůležitější proces při výrobě cementu. K procesu slinování dochází při teplotách 1300 až 1400 °C. Ve slinovaném materiálu dochází k chemickým změnám, jejichž důsledkem je vznik trikalciumpilíkátu (alitu), který se v cementu stává významným hydraulicky aktivním materiálem. Při slinovacím procesu dochází spékání původně práškovité násady. Postupným nabalováním rozzhavených částic v peci vzniká slínek. Je základní surovinou pro další výrobu cementu. Především obsahuje křemičitany (silikáty) a hlinitaný (alumináty) vápenaté. Jde o sloučeniny, které jsou podobné přírodním horninotvorným minerálům. Slínek se po částečném vychladnutí drtí a nechává se vychladnout ve skladovacích silech. Ze skladovacích sil se slínek postupně odbírá a smíchá se s přísadou 2 – 6 % sádrovce (průmyslový odpadní sádrovec, přírodní sádrovec). Poté se pomele na definitivní jemnost a vzniká jednosložkový (portlandský) cement. Jako regulátor rychlosti tuhnutí slouží sádrovec, můžeme také použít přírodní anhydrit. Také můžeme přidávat i vedlejší přísady (hydrofobní přísady, intezifikátory mletí). V množství nepřesahují 1 % z hmotnosti cementu. V roce 2013 se v České republice vyrobilo 4 miliony tun cementu a energetická náročnost se snížila při výrobě 1 t slínku ze 7000 MJ na 3000 MJ. Hodnota 7000 MJ odpovídá osmdesátým letům, kdy se vyrábělo 7 milionu tun ročně [4].

V současné době se k výrobě cementu používají kontinuálně pracující rotační pece. Původně probíhala výroba cementu v pecích šachtových. Zvláštní tvar včelího úlu měla šachtová pec Johna Aspdina (britský patent č. 5022 z roku 1824). Tento patent byl považován za počátek moderního cementářství. Aspdin chápal cement především, jako pojivo k výrobě umělých kamenných prvků nahrazují stavební kámen z Portlandu. Tím vznikl název portlandský cement, který se používá do dnes. Jedná se o cement jednosložkový (mletý slínek bez dalších hydraulických příměsí) [4].

Vytápění pece

Palivo přiváděné hlavním hořákem vytváří hlavní plamen. Teplota plamene je okolo 2 000 °C. Plamen je v určitém rozmezí nastavitelný z důvodu optimalizace. V moderním, nepřímě spalujícím hořáku je plamen tvarován a nastavován primárním vzduchem (10 - 15 % celkového spalovacího vzduchu). Místa pro dávkování paliva do pecního systému jsou: *„hlavním hořákem na výstupním konci rotační pece. Vstupním skluzem přechodové komory na vstupním konci rotační pece (pro kusové palivo). Sekundárními hořáky ve stoupacím kouřovodu. Předkalcinačními hořáky do předkalcinátoru. Vstupním skluzem do předkalcinátoru (pro kusové palivo). Pecním středovým vstupem v případě dlouhých a suchých pecí (pro kusové palivo). Koncem s křížovou vestavbou typu Lepol“* [1].

Závody, které spalující uhlí nebo petrolkoks mají nepřímé i přímé spalování. Závody, které používají přímé spalování pracují bez skladování a dávkování mletého uhlí. Práškové palivo se vhání přímo do pece. Vynášející vzduch ze mlýna je nosičem (tvarující plamen) a primárním vzduchem. Výrobní zařízení s přímým spalováním má řadu nevýhod. Zejména tepelné ztráty pecního systému jsou okolo 200 - 250 MJ/tunu slínku (o 6 až 8 % vyšší než u moderních pecních systémů). Dnes se přímé spalování instaluje málo. Topný olej je při odpovídající viskozitě a tlaku vstřikován přes rozprašovací trysku do pece za účelem vytvoření hlavního plamene. Tvarování plamene se dosahuje hlavně hořáky s vícekanálovým přívodem a s hlavou na rozprašování oleje v centrální poloze. Pecní hořáky na zemní plyn jsou konstruovány jako vícekanálové. Plyn nahrazuje uhlí nebo topný olej, ale také primární vzduch. *„Vícekanálové hořáky jsou zkonstruovány pro použití různých typů paliv včetně odpadních paliv“* [1].

K tepelnému zpracování surovinové směsi na slínek slouží rotační pece. Rotační pec tvoří válcový ocelový plášť, vyložený žárovzdournou vyzdívkou. Jsou dlouhé 100 až 180 metrů pokud se používá mokrá způsob. Při suchém způsobu kde jsou výměníky tepla je délka pece 40 až 100 metrů. Průměr pecí je 3 až 6 metrů se sklonem 3 až 7°C. Otáčí se kolem své osy, frekvence otáček je 1 až 2 minuty. Otáčení je zajištěno elektromotorem, dolním čelem pece je zaveden centrální hořák. Surovinová směs je dávkována na horním konci pece a postupuje proti proudu spalin [2].

Dlouhé rotační pece

Dlouhé rotační pece lze zavážet kalem, drceným kalovým koláčem, hrudkami nebo suchou moučkou. Jsou vhodné pro všechny typy procesů. Největší dlouhé pece mají poměr délky k průměru 38:1. Mohou být delší než 200 m. Tyto obrovské pece vyrábějí kolem 3 600 tun za den při použití mokrého procesu (Belgie, USA, Společenství nezávislých států (SNS)). Dlouhé rotační pece jsou konstruovány k vysušování, předehřívání, kalcinaci a slinování. Musí být připojen systém dávkování a chlazení. Horní část dlouhých pecí je vybavena řetězovými clonami a pevnými vestavbami. Slouží ke zlepšenému přenosu tepla. Pece pro mokrý proces jsou používány od roku 1895. Jsou nejstarším typem rotačních pecí používaných při výrobě cementového slínku. Původně se používalo mokré přípravy surovin, protože homogenizace byla snazší u kapalného materiálu. Vsázka do pece s mokrým procesem obvykle obsahuje 32 až 40 % vody. Je to nezbytné pro udržení tekutosti materiálu. Tato voda se poté musí odpařit ve speciálně konstruované sušicí zóně. Ta je umístěna ve vstupní části pece, kde se využívá podstatné části tepla ze spalování paliva. Tato technologie má vysokou spotřebu tepla. Vzniká velké množství spalin a vodních par. Dlouhé suché pece byly vyvinuty v USA. Vyvinuly se na základě suchých homogenizačních systémů na přípravu suroviny komorového typu. V důsledku vysoké spotřeby paliva jich v Evropě bylo nainstalováno jen pár [1].

Rotační pece vybavené předehříváči

Rotační pece jsou vybavené předehříváči. Poměr délky mají mezi 10:1 a 17:1. Existují dva typy předehříváčů. Roštové předehříváče a disperzní výměníky tepla. Technologie roštového předehříváče (pec typu Lepol) byly vynalezeny roku 1928. První část procesu výpalu se odehrává ve stacionárním zařízení mimo pec. Tím se rotační pec zkrátí a snížily se tepelné ztráty a zvýšila se energetická účinnost. „V roštovém předehříváči se granule připravené ze suché moučky na granulovacím talíři (polosuchý proces) nebo z filtračního koláče z mokrého kalu (polomokrý proces) přivádějí na horizontální posuvný rošt“ [1]. Ten se posouvá uzavřeným tunelem. „Tunel je rozdělen na horkou komoru a sušicí komoru příčkou s otvorem pro rošt“ [1]. Ventilátor čerpá odpadní plyn z rotační pece do horní části předehříváče. V těchto cyklonech se odstraňují velké částice prachu. Další ventilátor čerpá plyn do horní sušicí komory. Ten je vytlačuje

do odprašovacího zařízení. Za účelem dosažení optimální tepelné účinnosti mohou být polomokrý roštové předehřivače vybaveny třístupňovým systémem vedení plynu. Odpadní vzduch z chladiče se používá k sušení suroviny. U polomokrého pecního systému je největší vybudovaná jednotková velikost 3 300 tun za den. *„Spaliny z rotační pece vstupují do předehřivače při teplotě 1 000 - 1 100 °C. Když spaliny prochází vrstvou materiálu v horké komoře, ochladí se odpadní plyn na teplotu 250 až 300 °C. Sušicí komoru opouští při teplotě 90 – 150 °C. Vypalovaný materiál dosahuje v sušicí komoře asi 150 °C. V horké komoře 700 - 800 °C „[1].*

Princip disperzního výměníku

Disperzní výměník byl vynalezen počátkem 30. let minulého století. Byl to významný pokrok. K předehřívání i k částečné kalcinaci surovinové moučky (suchý, polomokrý proces) dochází udržováním moučky v disperzi s horkým plynem z rotační pece. Podstatně větší styčná plocha dovoluje téměř úplnou výměnu tepla. Jsou k dispozici různé typy systémů disperzních výměníků. Mají od čtyř do šesti cyklónových stupňů. Jsou uspořádány jeden nad druhým do věže o výšce 50 - 120 m. *„Nejvyšší stupeň může zahrnovat dva paralelní cyklóny pro lepší odlučování prachu. Spaliny z rotační pece proudí cyklónovými stupni odspodu nahoru. Suchá směs práškovité suroviny se k odpadním plynům přidává před nejhořejším cyklónovým stupněm. V cyklonech se od plynu odděluje a znovu se k němu připojuje před dalším cyklónovým stupněm“ [1].*

Vyšší tepelné účinnosti lze dosáhnout při suchém způsobu disperzními výměníky (systém Humboldt). Prášková surovina se předehřívá ve vlnosce v systému cyklón. Ty jsou zařazeny před rotační pec. Teplota suroviny nemá překročit 800 °C, tím se neucpe spojovací potrubí. Plyny postupují po spirálové dráze směrem nahoru, surovina je přiváděná ze shora. Následné turbulence vytvářejí podmínky pro intenzivní přísun tepla [2].

Šachtové výměníky

Šachtové výměníky byly postaveny po zavedení techniky disperzních výměníků díky jejich teoreticky vyšší výměně tepla. Obtížné zajištění rovnoměrného rozložení moučky v plynu znamenalo, že skutečný výkon byl nakonec mnohem horší,

než se očekávalo. Technika využívající jen šachtových stupňů byla nakonec opuštěna ve prospěch hybridních systémů s cyklónovými stupni. Buď vícestupňových, nebo čistě cyklónových výměníků. Některé z těchto hybridů jsou stále v provozu. Většina z nich byla přestavěna na čistě cyklónové výměníky. Šachtový stupeň je méně citlivý na problémy s nánosy než cyklónový stupeň. To může být výhodou pro spodní stupeň v případech, kdy je přítomno nadměrné množství cirkulujících prvků (chloridů, síry a alkálií). Hybridní výměníky se spodním šachtovým stupněm jsou pro nové výrobní závody stále k dispozici. Charakteristická kapacita pecí s šachtovým výměníkem je do 1 500 tun za den. Hybridní systémy mohou vyrobit 3 000 tun/den [1].

Čtyřstupňový cyklónový výměník

V 70. letech minulého století byl standardní technologií pecní systém se čtyřstupňovým cyklónovým výměníkem. V té době se stavělo mnoho výrobních závodů v kategorii 1 000 až 3 000 tun/den. Odpadní plyn, který má ve vrchním stupni cyklónu teplotu kolem 300 - 400 °C, se používá k sušení suroviny. Když moučka vstupuje do rotační pece, je kalcinace již dokončena asi na 30 %. Pecní vsázka je vytápěna na teplotu přibližně 850 °C s použitím odpadních plynů. Problémy byly v minulosti v případech, kdy docházelo k nadměrným vstupům cirkulujících prvků (chloridů, síry, alkálií) ze vsázky nebo z paliva. Vysoce obohacené cykly těchto prvků vedly k nánosům v cyklónech. Také na stěnách kouřovodů a to způsobilo zablokování a odstávku pecí trvající několik dní. Řešením tohoto problému je bypass pecního plynu. Bypassový plyn je chlazen za účelem kondenzace alkálií, před vypuštěním prochází prachovým odlučovačem. Většina čtyřstupňových disperzních výměníků pracují s rotačními pecemi se třemi podpěrami. „Je to standardní konstrukce asi od roku 1970. Pece s průměrem od 3,5 do 6 m byly postaveny s poměrem délky k průměru v rozmezí 13:1 až 16:1. Jsou mechanicky jednodušší oproti dlouhým pecím s mokřým a suchým procesem. Dnes se používají nejvíce“ [1].

Rotační pece s výměníkem a předkalcinací

Od roku 1970 je dostupná předkalcinační technika. Tepelný vstup je rozdělen mezi dva body. „K primárnímu spalování paliva dochází v pálicí zóně pece. Sekundární spalování probíhá ve zvláštní spalovací komoře mezi rotační pecí a výměníkem“ [1]. Díky podstatně delší době pobytu horké moučky a výstupních pecních plynů z pece ve spodní

oblasti cyklónového výměníku a použití doplňkového terciárního vzduchu, se v komoře může spálit až do 65 % celkového množství paliva. Tato energie se používá ke kalcinaci surovinové moučky. Ta je při vstupu do pece téměř úplně kalcinovaná. Můžeme dosáhnout úrovně kalcinace hodně nad 90 % [1].

Kalcinací se dosahuje vedle předeřtí surovin téměř úplného rozkladu CaCO_3 ještě před vstupem do vlastní pece [2].

„Horký vzduch se ke spalování v kalcinátoru vede od chladiče. Materiál opouští kalcinátor asi při teplotě 870 °C. Pecní systémy až s pěti cyklónovými stupni výměníku a s předkalcinátorem se považují za standardní technologii pro nové výrobní závody se suchým procesem“ [1].

Systémy bypassu

Používá se u surovin i u paliv (včetně odpadů), které obsahují chlór, síru a alkálie, které se vpravují do pecního systému. Funguje zde vnitřní cirkulace mezi pecí a výměníkem jako cyklus obohacování. Při vyšších koncentracích způsobuje cyklus tvorbu usazenin v oblasti vstupního otvoru do pece, do kalcinátoru a dvou spodních stupňů. Rovnoměrný provoz pece s minimalizovanými poruchami je základem pro energicky efektivní výrobu slínku. Mělo by se předcházet odstávkám vznikajícím kvůli nálepkům. Vysoká cirkulace alkálií, chlóru a síry si vynucuje použití bypassu plynu u vstupu do pece. *„Odstraněním části procesního plynu je odveden chlór, síra a alkálie, ale i jiné látky. Odstranění horké suroviny a horkých plynů vede k vyšší specifické spotřebě energie okolo 6 - 12 MJ/tunu slínku na procento odvedeného plynu na vstupu do pece. Typické podíly bypassu jsou do 15 % pro bypass chlóru a až do 70 % pro bypass síry. Související čištění SO_x odváděných spolu bypassovým plynem se řídí množstvím reaktivního vápna. Dobou pobytu při vyšších teplotách > 300 °C. Dobou pobytu při nižších teplotách < 200 °C v přítomnosti vody (páry)“ [1].*

Šachtové pece

Šachtové pece mají průměr 2 až 3 metry a výšku 8 až 15 metrů. Shora se dává granulovaná směs surovin s koksovou krupicí. Směs projde pecí za 5 až 6 hodin. Slínek

se odebírá plynule otočným nebo posuvným roštem. Vyzdívka je šamotová, v žárovém pásmu je magnezit. Objemový výkon 2,8 tun na m³ za den. Je vyšší než u běžných pecí rotačních [2].

„Vypalovaný materiál postupuje krátkou slinovací zónou v horní, mírně rozšířené části pece. Poté se chladí spaliny vháněnými odspodu a opouští v podobě slínku dolní konec pece na výpustném roštu. Jsou ekonomické jen pro malé výrobní závody. Z tohoto důvodu se jejich počet snižuje“ [1].

2.5 Pecní odpadní plyn

Odpadní plyny procházejí na omezování znečištění vzduchu (elektrostatickým odlučovačem nebo textilním filtrem) za účelem odloučení prachu před vstupem do hlavního komína. U suchých procesů mohou mít odpadní plyny vysokou teplotu a mohou poskytovat teplo pro surovinový mlýn. *„Jestliže mlýn neběží, plyny se před vstupem do odlučovače prachu chladí rozprašováním vody v chladičí věži. Za účelem snížení objemu a zlepšení jejich odlučovacích vlastností“ [1].*

Únik CO

Oxid uhelnatý může vznikat z jakéhokoli organického procesu v surovinách. Taký v důsledku neúplného spalování paliva. *„Podíl ze surovin vzniklý díky přehřívání se odvádí spolu s pecními plyny. Regulace hladiny CO je kritická v cementářských (a vápenických) pecích, pokud se pro odlučování částic používají elektrostatické odlučovače (EO). Zvýší-li se hladina CO v EO nad určitou úroveň, elektrický systém se odpojí (vypne), aby se vyloučilo riziko výbuchu. To vede k nesníženému vypouštění částic z pece. Úniky CO mohou být způsobeny nestálým provozem spalovacího systému. Někdy k tomu dochází při dávkování pevných paliv. Systémy dávkování pevných paliv musí být konstruovány tak, aby zabráňovaly nárazové dodávce paliva do hořáku. Kritickým faktorem je obsah vlhkosti v pevných palivech. Systém musí být pečlivě kontrolována, aby se zabránilo přeplňování nebo zablokování systémů přípravy nebo dávkování paliva“ [1].*

Chladiče slínku

Chladič slínku má dva úkoly a to rekuperovat z horkého slínku co nejvíce tepla za účelem jeho vrácení do výrobního procesu (1 450 °C) a snižovat teplotu slínku na úroveň vhodnou pro následující zařízení. Je nedílnou součástí pecního systému. Má rozhodující vliv na provoz a hospodárnost závodu. „*Teplo se rekuperuje předeřhříváním vzduchu používaného pro spalování při hlavním a sekundárním hoření*“ [1]. Rychlé chlazení upevňuje mineralogické složení slínku. Účelem je zlepšení melitelnosti a optimalizace reaktivity cementu. Problém u chladičů slínku jsou tepelná roztažnost, opotřebení, nesprávné proudění vzduchu a nízká disponibilita. Máme dva hlavní typy chladičů – rotační a roštové. Při výrobě bílého cementu se používají jiné typy chladičů. Musí být zachovány redukční podmínky při chlazení slínku. V prvním stádiu bělení a rychlého ochlazení rozprašováním vodou používáme bezkyslíkovou atmosféru. Musí se vyhnout kontaminaci bílého slínku chromoforními prvky a silné oxidaci během chladicí fáze [1].

Rotační chladiče – rourové chladiče využívá stejného principu jako rotační pec, pro opačnou výměnu tepla. Je umístěn na konci pece. Sekundární otočná roura s vlastním pohonem je instalována pod pecí. Po výpadu z pece postupuje slínek přechodovým skluzem. Poté vstoupí do chladiče, který je vybaven lopatkami pro rozptýlení produktu do vzduchového proudu. „*Proud chladicího vzduchu je určován vzduchem vyžadovaným pro spalování paliva. Optimalizace lopatek musí přihlížet k výměně tepla (způsobu rozptylování) v protikladu k cyklu návratu prachu zpět do pece*“ [1].

Rotační chladiče – planetové (satelitní) chladiče – „*jsou zvláštním typem rotačního chladiče. Několik rour chladiče, obvykle 9 až 11, je na výstupním konci připevněno k rotační peci. Horký slínek vstupuje otvory v plášti pece uspořádanými do kruhu. V každém místě je připevněna roura chladiče. Množství chladicího vzduchu je určováno vzduchem vyžadovaným ke spalování paliva. Jako u rourového chladiče mají zásadní význam vnitřní zařízení pro vyzvedávání a rozptylování slínku. Vysoké opotřebení a tepelné rázy ve spojení s prachovými cykly znamenají vysokou výstupní teplotu slínku. Výstupní teplota slínku může být dále snižována vstřikováním vody do rour chladiče nebo na plášť*“ [1].

Roštové chladiče – „chlazení v roštových chladičích se dosahuje průchodem proudu vzduchu směrem nahoru přes vrstvu slínku (slínkové lože) spočívající na roštu propouštějícím vzduch“ [1]. Vzduch ze zóny dochlazování se nevyužívá pro spalování, proto je použitelný pro účely vysoušení, např. cementových přísad nebo uhlí. Nepoužije-li se pro vysoušení, musíme z chladiče odstranit prach [1].

Chladiče s oběžným posuvným roštem – „v tomto typu chladiče se slínek dopravuje na oběžném posuvném roštu. Chladicí vzduch se vhání ventilátory do oddílů pod roštem. Výhodou konstrukce je neporušená vrstva slínku (žádné stupně). Také možnost výměny roštnic bez zastavení pece. Kvůli mechanické složitosti a nízké rekuperaci vyplývající z omezené tloušťky lože se od roku 1980 přestalo využívat „[1].

Chladiče s vratným posuvným roštem – dopravy slínku se dosahuje krokovým posuvem slínkového lože čelními hranami střídajících se řad plátů. Relativní pohyb čelních hran se generuje hydraulickými nebo mechanickými pohony. Pouze slínek postupuje od vstupního po výstupní konec, rošt se nepohybuje. Ze žáruvzdorné lité oceli jsou vyrobeny pláty roštu. Jsou 300 mm široké a mají otvory pro průchod vzduchu. „Chladicí vzduch je vháněn od ventilátorů při 300 – 1 000 mm vodního sloupce přes oddíly umístěné pod roštem. Tyto oddíly jsou od sebe navzájem odděleny za účelem dodržení profilu tlaku. Máme dvě chladicí zóny: rekuperační zónu, ze které se horký vzduch využívá pro spalování paliva z hlavního hořáku (sekundární vzduch) a předkalcinačního paliva (terciární vzduch) a dochlazovací zónu, kde další chladicí vzduch ochlazuje slínek na nižší teploty“ [1].

Největší jednotky v provozu mají aktivní povrch asi 280 m². Chladicí kapacitu 10 000 tun slínku za den. Provozními problémy chladičů jsou oddělování a nerovnoměrné rozložení slínku vedoucí k nerovnovážnému poměru mezi vzduchem a slínkem. Dále fluidizace jemného slínku (červená řeka) a také nálepky (sněhuláci). Krátká doba životnosti roštnic [1].

Třetí generace roštových chladičů – kolem roku 1983 začal a rozvoj moderní techniky chladičů s posuvným vratným roštem. Záměrem konstrukce bylo eliminovat problémy s konvenčními chladiči. Cílem bylo přiblížit se k optimální výměně tepla. Používat méně chladicího vzduchu a menších odprašovacích systémů. Kolem roku 2000

se objevila nová generace představující zcela novou koncepci chlazení slínku. Klíčovými vlastnostmi moderní technologie chladičů jsou: *„jeden nakloněný nebo horizontální pevný rošt. Slínek dopravovaný příčnými tyčemi nebo posuvnými podlahami. Slínek zůstává na místě a nepadá skrz do oddílu pod roštem. Eliminace oddělovacího vzduchu a automatická regulace rozvodu vzduchu“* [1]. Účinnost přepravy slínku je zlepšena díky lepší regulaci a k fluidizaci jemného slínku (červené řece). Tyto chladiče jsou vhodné pro provoz u největších zařízení na výrobu slínku v cementářských pecích [1].

Vertikální chladiče – *„bezprašný dochlazovač, nazývaný gravitační chladič nebo G-chladič, byl vyvinut pro instalaci za planetovým chladičem nebo krátkým roštovým rekuperátorem. Chladičí vzduch nevstupuje do kontaktu se slínkem. Výměna tepla se provádí tak, že slínek sestupuje přes příčné ocelové trubky ve slínkovém loži, které jsou postupně chlazeny „* [1].

2.6 Společná výroba elektřiny a tepla

V cementárnách lze využít nadměrného tepla z procesu výroby cementu. Používáme výměníky tepla, které slouží k přenosu tepelné energie na výrobu elektrické energie nebo na vytápění. Tyto zařízení slouží pro kontinuální nebo přerušovaný přenos tepelné energie mezi dvěma nebo více proudícími teplonosnými médii. Dochází zde k předávání tepla z ohřívacího (teplého) media do media ohřívaného (chladnějšího). Tyto procesy probíhají s využitím vody. Proces je založen na principu hnacího media, které se vypařuje na páru. Tepelné výměníky mají využití pro ohřev vody a ohřev vzduchu parou, horkou vodou nebo spaliny. Pro chlazení, kondenzace páry, předehřev a výrobu páry [5].

2.7 Mletí a skladování cementu

Skladování slínku – slínek se skladuje v silech nebo v uzavřených halách. Pokud máme větší zásoby, může se skladovat na otevřeném prostranství, ale musí se zabránit tvorbě prachu. Systémy skladování slínku jsou: *„podélné sklady s gravitačním vyprazdňováním (zásoba s omezenou životností). Kruhové sklady s gravitačním vyprazdňováním (zásoba s omezenou životností). Sila na skladování slínku (zásoba s dlouhou životností). Slínkové skladovací dómy (zásoba s omezenou životností)“* [1].

Mletí cementu – portlandský cement se vyrábí současným mletím cementového slínku a síranů (sádrovec a anhydrid). U směsných cementů (kompozitních cementů) existují další složky. Jako granulovaná vysokopecní struska, popílek, přírodní nebo umělé pucolány, vápenec nebo inertní plniva. Můžeme mlít společně se slínkem nebo meleme a sušíme odděleně. Důležitost má melitelnost, vlhkost a abrazivní chování složek vyráběného druhu cementu. Většina mlýnů pracuje v uzavřeném cyklu. Díky tomu se může oddělovat cement s požadovanou jemností od mletého materiálu a vracet hrubý materiál do mlýna. Při výrobě bílého cementu je důležité konečné mletí spolu s výběrem vhodných typů sádrovce s vysokou čistotou [1].

Měření a dávkování vsázky mlýny – *„přesnost a spolehlivost měření a dávkování složek vsázky mlýna podle hmotnosti je velmi důležité. Nejčastějším měřicím a dávkovacím zařízením pro dávkování materiálu do mlýnů je pásový váhový podavač“* [1].

Mletí cementu – systémy používané pro konečné mletí jsou: *„trubnaté mlýny, které mají uzavřený cyklus (minerální přísady jsou poněkud omezené, pokud nejsou suché nebo předsušené). Vertikální válcové mlýny (nejvhodnější pro vysoký objem minerálních přísad díky své schopnosti vysušovat, nejvhodnější pro samostatné mletí minerálních přísad). Válcové tlakové mlýny (minerální přísady jsou poněkud omezené, pokud nejsou suché nebo předsušené)“* [1].

Kulové mlýny (typu trubnatého mlýnu) mají průměry trubek až do 6 m a délku pláště až do 20 m. Používají se ocelové koule různých velikostí v závislosti na jemnosti mletí. Tento typ mlýnů je snadno dostupný a provozně spolehlivý, v energetické účinnosti se řadí mezi náročné. Můžeme v omezeném rozsahu sušit nerostné přísady s určitým obsahem vlhkosti průchodem horkých plynů mlýnem a za použití tepla z procesu mletí [1].

Vertikální válcový mlýn má dva až čtyři mlecí válce podepřené odklápěcími rameny a jezdí po horizontálním mlecím stole nebo mlecí míse. Vhodný pro současné mletí a sušení cementových surovin nebo strusky. Vertikální válcové mlýny mohou pracovat s relativně vysokým obsahem vlhkosti v mlýnských vsázkách [1].

Vysokotlaký dvouválcový mlýn „vyžaduje poměrně vysoký stupeň údržby. Vysokotlakové dvouválcové mlýny se často používají ve spojení s kulovými mlýny“ [1].

Horizontální válcový mlýn je složen z krátkého horizontálního pláště na hydrodynamických nebo hydrostatických ložiscích. „Plášť se otáčí pomocí obvodového pohonu. Uvnitř pláště je horizontální válec, který volně rotuje a může být hydraulicky přitlačován k plášti. Materiál, který se má mlít, se přivádí do jednoho či obou konců pláště a prochází několikrát mezi válcem a pláštěm. Podrcený materiál odcházející z mlýna se dopravuje do třídiče, přičemž se nadsítná frakce vrací do mlýna“ [1].

Metí minerálních přísad

„Minerální přísady se obvykle melou spolu se slínkem a sádrovcem. Rozhodnutí o tom, zda je mlít odděleně závisí na procentu minerálních přísad v konečném výrobku a ve výrobě cementu jako celku. Zda je k dispozici volný mlýn. Zda existuje významný rozdíl v melitelnosti slínku a minerálních přísad. Zavisí na obsahu vlhkosti minerálních přísad“ [1].

Oddělené mletí – lze používat systémy pro suché nebo polosuché mletí surovin. Může být vyžadováno předsušení kvůli vysokému obsahu vlhkosti [1].

Třídění podle rozdělení velikosti částic

Pro jakost cementu je velmi důležité rozdělení velikosti částic. Upřesnění těchto parametrů se dosahuje nastavením třídiče. Výhodami je: „nižší měrná spotřeba energie systémem (méně přemílání), zvýšený výkon systémů (účinnost), možnost chlazení výrobku, větší pružnost při úpravách jemnosti výrobku, lepší kontrola rozložení velikosti částic, lepší stejnorodost výrobků“ [1].

Redukce chromátů – chrom (VI)

Cement se vyrábí z přírodních surovin, jeho obsah chrómu se může v závislosti na okolnostech značně lišit, ale je nevyhnutelný. Hlavními zdroji chrómu v portlandském cementu jsou přírodní suroviny, jako je vápenec, písek a zejména jíla. Menší zdroje obsahují

paliva (konvenční (fosilní) a odpadní). V roce 2003 provedl Státní ústav ochrany zdraví při práci epidemiologické hodnocení ohledně výskytu chrómu (VI) v cementu. Z tohoto hodnocení vyplynulo, že *„hlavními zdroji chrómu v hotovém cementu jsou suroviny, žáruvzdorné cihly v peci a chromové mlecí prostředky. Relativní podíl těchto zdrojů se může lišit v závislosti na obsahu chrómu v surovinách a na výrobních podmínkách. Ve studii se při mletí slínku pomocí koulí ze slitin chrómu obsahujících 17 - 28 % chrómu zvýšil obsah šestimocného chrómu v cementu více než dvakrát v porovnání s obsahem přítomným v původním slínku“* [1].

Směrnice EU o chromátech (2003/53/EC) omezila uvádění na trh a používání cementu s více než 0,0002 % (2 ppm) rozpustného chrómu (VI). V odvětví výroby cementu není možné snižovat obsah chromanů ve vstupní fázi, jelikož hlavními zdroji jsou suroviny. V roce 2007 je jediným způsobem jak snížit obsah chrómu (VI) rozpustného ve vodě přidáním redukčního činidla k hotovým výrobkům. Hlavními redukčními činidly používanými v Evropě jsou síran železnatý a síran cínatý [1].

Skladování cementu

Větší množství cementu se přepravuje v cisternách. Skladuje se v silech. Menší zásilky se dodávají v pytlích. Pytle musí být uloženy tak, aby byly chráněny před deštěm. Bez zvláštních úprav se cement může skladovat 3 měsíce. Tato doba se dá prodloužit hydrofobizací. Tyto cementy jsou vybaveny látkou odpuzující vlhkost. Cement se pak může skladovat až 9 měsíců [4].

„K dopravě cementu do skladovacích sil je možné použít pneumatických nebo mechanických dopravníkových systémů. U mechanických systémů jsou vyšší investiční náklady. Dopravníkovým systémem, který se používá je kombinace vzdušného žlabu nebo šnekových dopravníků s řetězovým korečkovým elevátorem“ [1].

Balení a expedice

Cement se přepravuje ze sil buď přímo do silničních anebo železničních cisteren. Také do cisternových lodí nebo do pytlovacího balicího provozu [1].

2.8 Emise do ovzduší

Když vyrábíme cement vznikají nám emise, které se dostávají do ovzduší a emise hluku. Mohou vznikat pachy ze skladování a manipulace s odpady. Směrnice IPPC zahrnuje seznam hlavních látek znečišťujících ovzduší. Jsou zde stanoveny hodnoty emisních limitů. Pro výrobu cementu včetně využití odpadů jsou významné tyto látky: „*oxidy dusíku (NO_x) a jiné sloučeniny dusíku. Oxid siřičitý (SO_2) a jiné sloučeniny síry. Dále prach, organické sloučeniny celkem (TOC), včetně těkavých organických sloučenin (VOC). Polychlorované dibenzo-dioxiny a dibenzo-furany (PCDD a PCDF). Kovy a jejich sloučeniny, fluorovodík (HF), chlorovodík (HCl) a oxid uhelnatý (CO)*“ [1].

Z pecního systému vznikají hlavní emise, které se dostávají do ovzduší. Ty pocházejí z chemicko-fyzikálních reakcí. „*Hlavními složkami výstupních plynů z cementářské pece jsou dusík ze spalovacího vzduchu CO_2 . Z kalcinace CaCO_3 a ze spalování paliva. Vodní pára ze spalovacího procesu a ze surovin. Také vzniká přebytečný kyslík. Mnohé složky, které vznikají spalováním paliva nebo přeměnou suroviny na slínek, zůstávají v plynné fázi. Dokud nejsou absorbovány nebo nekondenzují na surovině postupující proti proudu. Adsorpční schopnost materiálu se mění s jeho fyzikálně-chemickým stavem. Ten naopak závisí na tom, kde se v pecním systému nachází*“ [1]. Materiál, který opouští kalcinační stupeň pecního procesu má vysoký obsah oxidu vápenatého. Díky tomu má vysokou schopnost absorpce kyselin jako HCl, HF a SO_2 . „*Emisní rozsahy, při kterých pece pracují, závisejí na povaze surovin, paliva, stáří a konstrukci zařízení. Dále závisí na požadavcích stanovených povolujícím úřadem. Typické objemy odpadního plynu vyjádřené v m^3/t slínku (suchý plyn, 101,3 kPa, 273 K) se pro všechny typy pecí pohybují od 1 700 do 2 500 m^3/t . Pecní systémy s disperzním výměníkem a předkalcinátorem mají normální objem odpadního plynu okolo 2 300 m^3/t slínku (suchý plyn, 101,3 kPa, 273 K)*“ [1]. Bodové emise vznikají při rozmělnění (mletí) a manipulaci suroviny. Potenciálním zdrojem emisí prachu je venkovní skladování surovin a pevných paliv. Emise prachu vznikají při nakládce cementového produktu [1].

3. LEGISLATIVA SOUVISEJÍCÍ S VÝROBOU CEMENTU VE VZTAHU K OCHRANĚ OVZDUŠÍ

Nejčastěji diskutovanou problematikou při výrobě cementu a používání všech druhů paliv (klasických základních a alternativních) a odpadů jsou emise a oprávněnost emisních limitů. Jaký je jejich reálný obsah ve spalínách. Často se pochybuje o tom, zda jsou dodržovány emisní limity a zda tyto limity nejsou účelově upraveny tak, aby je daná cementárna byla schopna dodržet. Zpochybňována není legislativa související se stanovenými emisními limity v souladu s evropskou i národní legislativou, ale pojem legitimacy. Tento pojem znamená, že cementárny nejsou v souladu se zájmem žít ve zdravém, nezhoršujícím se životním prostředí. Přitom emisní limity byly v celé Evropě zvoleny tak, aby docházelo k minimalizaci znečištění [6].

3.1 Legislativa

Základním právním předpisem v oblasti ochrany ovzduší je zákon č. 201/2012 Sb. a dále zákon č. 73/2012 Sb. [7].

Zákon č. 201/2012 Sb. – o ochraně ovzduší a související předpisů, stanoví zejména práva a povinnosti provozovatelů zdrojů znečišťování ovzduší, nástroje ke snižování množství látek, které znečišťují ovzduší, působnost správních orgánů a opatření k nápravě a sankce. Tento zákon byl novelizován **zákonem č. 64/2014 Sb.**, který nabyl platnost dne 1. 5. 2014. Dále byl novelizován **zákonem č. 87/2014 Sb.**, který nabyl platnost dne 1. 6. 2014 [7].

Zákon č. 73/2012 Sb. – upravuje práva a povinnosti osob. Působnost správních úřadů při ochraně ozonové vrstvy Země. Klimatického systému Země před nepříznivými účinky regulovaných látek a fluorovaných skleníkových plynů. Prováděcím právním předpisem je **vyhláška č. 257/2012 Sb.** – o předcházení emisím látek, které poškozují ozonovou vrstvu, a fluorovaných skleníkových plynů [7].

V oblasti ochrany ovzduší je celá řada povinností, které mají svůj základ v předpisech Evropské unie. Důležitou směrnicí je **2008/50/ES** ze dne 21. května 2008 o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu. Další důležitou směrnicí

je **2010/75/EU** ze dne 24. listopadu 2010 o průmyslových emisích (integrované prevenci a omezování znečištění). Pro ochranu ozónové vrstvy Země jsou zásadními nařízení Evropského parlamentu a Rady **2009/1005/ES** ze dne 16. září 2010 o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu, v platném znění. Dále nařízení Evropského parlamentu a Rady **2014/517/EU** ze dne 16. dubna 2014 o fluorovaných skleníkových plynech a o zrušení nařízení **2006/842/ES** [7].

3.2 IPPC

Proces integrované prevence o omezování znečištění byl zakotven do právního řádu v ČR v roce 2003, kdy nabyl účinnost zákonem č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci, ve znění zákona č. 521/2002 Sb. (dále "zákon o integrované prevenci), který zohlednil požadavky Směrnice Rady č 96/61/EC o Integrované prevenci a omezování znečištění (IPPC - Integrated Pollution Prevention and Control). Hlavním cílem integrované prevence je ochrana životního prostředí jako celku (integrovaná) před průmyslovým a zemědělským znečištěním regulací provozu vybraných zařízení. Regulací provozu jsou myšlena opatření zaměřená na snížení emisí do ovzduší, vody a půdy, na prevenci znečištění, na snižování vlivu hluku a vibrací, na způsob využití odpadů, jejich omezování vzniku a zneškodnění. Celkový přístup k předcházení vzniku a omezování průmyslového znečištění má v procesu IPPC podobu řízení o tzv. "integrovaném povolení" (dále také jako "IP") a vydání podmínek integrovaného povolení, které je vydáváno na základě zhodnocení předpokladů daného zařízení předcházet znečištění a srovnání jeho environmentální výkonnosti s tzv. nejlepšími dostupnými technikami (BAT - "Best Available Techniques"). Ty jsou začleněny do evropských referenčních dokumentů o nejlepších dostupných technikách – BREF. Ty jsou pro jednotlivé obory zpracovány a vydávány odbornými institucemi Evropské komise se zastoupením všech členských států. Integrovaná prevence je prvním administrativním nástrojem, který zavádí právně závazné požadavky na uplatňování principů předcházení vzniku znečištění a žádoucím přístupem k ochraně životního prostředí před průmyslovým znečišťováním. Cílem a principem je zamezit přenosu znečištění z jedné složky životního prostředí do druhé. Zabránit zvyšování znečišťování životního prostředí použitím preventivních a nápravných opatření. Předcházet vzniku odpadů a zabezpečit jejich opětovného využití. Přijímat opatření nezbytné k předcházení havárií a omezovat jejich následky. Vyjednávat

individuální podmínky povolení pro provozovatele. Vydávat integrované povolení pro veřejnost [8].

3.3 BREF

BREF je referenční dokument o nejlepších dostupných technikách nazvaný „**Průmyslová odvětví výroby cementu, vápna a oxidu hořečnatého**“. Je postupně zpracován a zveřejňován pro všechny sledované činnosti, které spadají pod účinnost směrnice. Jedná se o směrnici Evropského parlamentu a Rady 2008/1/ES (směrnice o integrované prevenci a omezování znečištění). Obsahuje informace o daném odvětví, emisních limitech, které se používají v členských zemích. Prioritních materiálových tocích, a monitoringu. Jádrem BREF je popis BAT [1].

3.3 BAT

BAT (best available techniques) znamená nejpokročilejší a nejúčinnější stadium vývoje technologie, při níž dochází ke snížení emisí. Technika – zahrnuje jak používanou technologii, tak i způsob, jakým je zařízení navrhováno, budováno, udržováno, provozováno a po dožití vyřazováno z provozu. Dostupná – znamená, že technika je vyvinuta v měřítku, které umožňuje její zavedení v příslušném průmyslovém odvětví. Jak ekonomicky tak technicky přijatelných podmínek s přihlédnutím na náklady a výhody. Nejlepší – znamená nejúčinnější pro dosažení vysoké úrovně ochrany životního prostředí jako celku [1].

3.4 Limity emisí dle BAT

Emise prachu PM_{10} a $PM_{2,5}$ jsou složeny z jemných částic o velikosti průměru zrna než 10 a menší než 2,5 mikrometrů. Mohou vznikat jako aerosoly nebo být v pevné formě. Vznikají v důsledku fyzikálně-chemických reakcí. Při chemických reakcích se zapojují prekurzorové plyny jako oxidy dusíku, oxidy síry. Emise prachu vznikají při procesu výpalu a chlazení [1].

Limity emisí pro TZL:

- „Prachové emise z procesů spalování v peci - BAT-AEL je $<10 - 20 \text{ mg/Nm}^3$ (denní průměrná hodnota)“
- „Prachové emise z procesů chlazení a mletí - BAT-AEL je $<10 - 20 \text{ mg/Nm}^3$ (denní průměrná hodnota)“ [1].

Emise oxidu dusíku – vznik oxidů dusíku NO_x je způsoben procesem výpalu slínku. Tyto oxidy na znečištění ovzduší ze závodu mají velký význam. „Vznikají v průběhu spalovacího procesu, a to buď slučováním dusíku přítomného v palivu s kyslíkem v rámci plamene, nebo slučováním atmosférického dusíku a kyslíku ve spalovacím vzduchu“ [1].

Máme dva hlavní zdroje vzniku NO_x a to termické a palivové. Termické NO_x vznikají ve spalovacím vzduchu, kdy část dusíku reaguje s kyslíkem a tím se vytvářejí různé oxidy dusíku. Vznikají při teplotě vyšší jak 1 050 °C. Jsou tvořeny v pálící zóně pece. Je zde dostatečná teplota na vznik reakce, která je závislá jak na teplotě i na obsahu kyslíku. V odpadních plynech z cementářských pecí jsou dominantními oxidy dusíku NO a NO₂. Palivové NO_x jsou chemicky vázané v palivu, sloučeniny dusíku reagují s kyslíkem ze vzduchu. Vznikají při spalování dusíku přítomného v palivu při nižších teplotách. Dusík se v palivu slučuje s jinými atomy dusíku na plynný N₂. Nebo dusík v palivu reaguje s kyslíkem a vytváří palivové NO_x [1]. „Oxid dusnatý (NO) představuje asi 95 % a oxid dusičitý (NO₂) asi 5 % oxidů dusíku, které jsou přítomny v odpadních plynech závodů s rotačními pecemi“ [1].

Teplota v předkalcinátoru se pohybuje v rozmezí 850–950 °C. Při této teplotě se vytváří malé množství termického NO_x, více se vytváří palivové NO_x. U pecí s předkalcinací se může v kalcinátoru spálit až 60 % paliva. Díky tomu přispívá tvorba palivových NO_x k celkovým emisím NO_x, termický NO_x je mnohem nižší [1].

Limity emisí pro NO_x:

- „Pece dlouhé rotační nebo typu Lepol – 400 až 800 mg/Nm³ (denní průměrná hodnota)“ [1].

Emise SO_2 vznikající v cementárně závisejí na celkovém vstupu sloučenin síry, dále na typu použitého procesu. Jejich určení závisí na obsahu těkavé síry v palivu nebo surovinách. V pecním systému dochází k cirkulaci síry a tím mohou vznikat emise SO_x . *„Síra je uvolňována z různých výstupů pecního systému, jako je například SO_2 v odpadních plynech, CaSO_4 a další kombinované sloučeniny ve slínku a prachu. Větší část síry je však začleněna do slínku nebo vypuštěna ze systému v rámci procesu“* [1]. Suroviny nebo surovinová ložiska mohou obsahovat síru ve formě síranů nebo sulfidů. *„Sířany jsou stabilní sloučeniny, které se jen částečně tepelně rozkládají při vysokých teplotách panujících ve slinovacích zónách systémů rotačních pecí. Sulfidy naopak oxidují ve výměníku a jsou částečně emitovány ve formě oxidu siřičitého“* [1]. Do pecního systému je s palivy přiváděná síra, která oxiduje na SO_2 a nevede k významným emisím SO_2 . Děje se tomu v důsledku zásadité povahy slinovací zóny, kalcinační zóny a nižšího stupně výměníku. Síra vstupuje do kalcinační zóny s koncentracemi SO_2 . V důsledku částečného rozkladu síranů ve slinovací zóně. *„V kalcinační zóně reaguje SO_2 mimo jiné s alkáliemi a sířany alkálií pocházejícími ze surovin. Přebytný SO_2 při kontaktu s částečně dekarbonovanou surovinovou moučkou nejprve reaguje na CaSO_3 , a poté na CaSO_4 . Tyto sířany znovu vstupují do rotační pece“* [1]. Vznikají cykly síry a ty jsou v rovnováze se sírou vypouštěnou prostřednictvím slínku. Emise SO_2 mohou vznikat, pokud provozní podmínky pecního systému nejsou konstruovány pro zachycení SO_2 . Zvýšené emise SO_2 lze očekávat za přítomnosti surovin obsahující organickou síru. Síra v podobě sulfidů a organicky vázané síry odchází z prvního stupně výměníku. Odejde jí asi 30 %. V kalcinační oblasti je zachyceno 40 až 85 % ve výměníku. Vzniká i nepatrné množství SO_3 . Hlavní emise uvolněné ze sloučenin síry jsou SO_2 (99 %) [1].

Limity emisí pro SO_2

- *„ SO_x vyjádřené jako $\text{SO}_2 < 50 - < 400 \text{ mg/Nm}^3$ (denní průměrné hodnota)“* [1].

4. POPIS POSUZOVANÉ SPOLEČNOSTI

Společnost se zaměřuje na výrobu tří hlavních produktů – cementu, kameniva a transportbetonu, které doplňuje o výrobu asfaltu, betonových prefabrikátů a dalších betonových výrobků. [9].

Cementárna byla zprovozněna v šedesátých letech minulého století a v době svého spuštění dosahovala nejvyšší světové technologické úrovně, poprvé v cementářském průmyslu na území Československa bylo použito řízení s využitím počítačové techniky [9].

V následujících letech prakticky nedocházelo k modernizaci a ke zlepšování ekologických parametrů zařízení, výjimkou bylo odprášení rotačních pecí a odprášení chladičů slínku na přelomu osmdesátých a devadesátých let minulého století [9].

Ekologické investice začaly až po převzetí nadnárodní společností před 30 lety, kdy začalo docházet k celkovému odprášení podniku včetně instalace nových prachových filtrů [9].

V devadesátých letech došlo k zastřešení skládky vápence v lomu a byly vyměněny hořáky rotačních pecí [9].

Na konci devadesátých let bylo zprovozněno kontinuální měření emisí. Postaveno nové slínkové silo. Při výrobě cementu se začaly používat elektrárenské popílký. Bylo vybudováno stáčiště tekutých alternativních paliv, instalovány nové třídiče na mletí cementu. Zavádí se sušení strusky odpadním teplem. Rekonstrukcí prošlo zařízení na dopravu ojetých pneumatik (alternativní palivo) [9].

Počátkem jednadvacátého století bylo uvedeno do provozu zařízení na spalování tuhých alternativních paliv. Dále bylo provedeno nové odprášení chladiče slínku na lince č. 1, stávající pískové filtry byly nahrazeny chladičem a soustavou textilních filtrů, současně byl instalován tzv. chloridový bypass, který snižuje obsah těkavých látek v tepelném výměníku, a zlepšuje tak technologii výpalu slínku (negativem je ovšem zhoršení tepelné bilance výpalu). Dochází k vybudování zařízení na spalování masokostní moučky. Jsou budovány lokální plynové kotelny. Došlo k rozšíření kontinuálního monitoringu na peci č. 1 o TOC, CO, HF a HCl, rovněž bylo zprovozněno zařízení

na redukci šestimocného chrómu v cementu a pec č. 1 byla osazena novým hořákem umožňujícím spalování tuhých alternativních paliv. Byla zprovozněna mlýnice uhlí, která šetří značné náklady a dokončeno nové slínkové silo č. 2, rovněž byl instalován nový kombinovaný hořák UNITHERM na pec č. 2, který umožní spalování jak tuhých, tak kapalných paliv (stejně jako na peci č. 1). Tímto opatřením se zlepšuje využití paliva a snižují emise NO_x. Konečně také došlo k modernizaci odprášení chladiče slínku na lince č. 2 (výměna stávajících pískových filtrů) [9].

Začátkem 10. let jednadvacátého století byla realizována výstavba nového vertikálního mlýna na strusku a zejména instalace předkalcinátoru na linku č. 2, čímž došlo ke zvýšení nominálního výkonu každé pece na 1900 t slínku/den. Provedla se celková rekonstrukce hlavních pecních filtrů, výměna elektroodlučovačů za textilní filtry a nainstalovány tlumiče hluky. Tím se významně snížily emise tuhých znečišťujících látek, Hg a těžkých kovů. Dále se zde prováděli protihluková opatření, kde bylo odloučení ventilátorů filtrů, protihlukové obložení stěn. Omezení prašnosti skladu alternativních paliv, zastřešení a obložení vykládky tuhých alternativních paliv. Rekonstrukce pece, konstrukce kalcinátoru – tím dochází ke snížení NO_x [9].

4.1 Technologie při výrobě cementu v posuzované společnosti

Těžba a drcení surovin – začíná se těžbou vápenců a břidlic v lomu. Suroviny se dobývají pomocí clonových odstřelů. Těžební rozloha je 120 ha při roční těžbě 1 500 000 tun. Suroviny z těžebního prostoru jsou převáženy k drcení kolovými nakladači a vysokotonážními vozy. Drcení se provádí ve dvou kladivových drtičích a dopravovány pásovými dopravníky na skládku surovin do závodu pro další zpracování. **Výroba surovinové moučky** – podrcená surovina s korekční složkou se dopravuje do surovinového mlýna, kde se mele a suší. Poté postupuje přes homogenizační sila do zásobních sil. **Výpal portlandského cementu** – nejdůležitějším procesem při výrobě cementu je výpal slínku. Surovinová moučka prochází cyklonovým výměníkem, kde se předeřhřívá surovina na teplotu 850°C a poté se dostává do rotační pece. Ve výměníku dochází k využití tepla kouřových plynů, dochází k zachycení oxidu siřičitého, ten se mění na síran vápenatý (ten je neškodný). Pálením při teplotě cca 1 450°C na mez slínku se tvoří umělé tzv. slínkové minerály, které se prudkým ochlazením

v chladiči stabilizují a vzniká slínek. **Mletí cementu** – slínek se odebírá ze slínkového sila pro mletí v oběhových cementových mlýnech, kde se mele s chemosádrovcem nebo energosádrovcem (regulátor tuhnutí) nebo s dalšími složkami jako je stuska, popílek, odprašky atd., na jemný prášek – cement. **Expedice cementu** – cement se expeduje buď jako volně ložený v autocisternách nebo ve speciálních vagónech, také se balí do papírových pytlů. Naplněné pytle jsou z balící linky přepravovány na peletizační linku. Ukládají se na dřevěné palety a poté se cement expeduje na nákladních autech nebo železničních vagónech. **Kontrola kvality a řízení výroby** – provádí se v laboratoři, která je vybavená moderní chemickou a fyzikálně mechanickou zkušebnou. V laboratoři se také provádějí rozborů všech vstupních surovin a meziproduktů. Cementárna je plně automatizována [10].

K výrobě **cementového slínku** jsou zapotřebí čtyři hlavní složky – oxid vápníku, křemíku, hliníku a železa. Tyto materiály musí být smíchány v určitém poměru. Podle analýz kamene se stanoví potenciální podíl z těžebních etází tak, aby všechny vstupující materiály do rotační pece splňovaly podmínky pro výpal kvalitního slínku. Výroba cementu je **energeticky náročná**, proto se využívají náhradní zdroje paliva. Úspora hlavních paliv je dosažena spalováním vyřazených pneumatik. Dále je zde alternativní palivo např. hořlavé kapalné odpady (rozpuštědla, surový lehký olej, surový generový dehet). Při spalování dochází k bezpečné likvidaci – vysoká teplota plamene 2 100°C v rotační peci a dlouhá doba zdržení paliva při teplotě 1 200°C zaručuje dokonalé spálení. **Zařízení pro předhřev a kalcinaci práškové cementářské suroviny** – účelem zařízení je, že před vstupem do pece lze zavést do kalcinační komory část směsi spalin a vzduchu a do přívodního kanálu cyklonového stupně zavést menší část kalcinačního paliva. **Kalcinátory** – slouží pro spalování méně hmotných tuhých alternativních paliv a jsou efektivním prostředkem pro kontrolu emisí NOx. **Pecní linka** se skládá z pecního výměníku tepla s dlouhým kalcinačním kanálem a kalcinační komorou pro spalování alternativních paliv, rotační pece o průměru 4,3 x 67 m, roštového chladiče a terciárního vzduchovodu. Doprava suroviny do výměníku je pneumatická na podloží cyklonů. Zde je umístěn filtr. **Kalcinační kanál** s vírovou hlavou je vestavěn do cyklonového výměníku. Zajišťuje výměnu tepla mezi plyny a surovinou. **Kalcinační komora** je umístěná v nosné konstrukci cyklonového výměníku. Do horní části komory se přivádí terciární vzduch přes terciární vzduchovod ze žárové hlavy. Jsou zde vedeny samostatné

odbočky k hořáku pro snížení NOx. **Rotační pec** je zde dokončena kalcinace suroviny a probíhá zde výpal slínku. Vypálený slínek vypadává z rotační pece přes žárovou hlavu na rošť chladiče [10].

5. EMISNÍ ANALÝZA VÝROBY CEMENTU (VČ. SOUVISEJÍCÍCH ČINNOSTÍ)

Emisní měření se provádělo na výstupech rotačních pecí se stanovením emisních parametrů všech škodlivin předepsaných dle IPPC KÚ OŽP pro technologie spalování paliv a odpadů v cementářských rotačních pecích. Emisní měření se provádělo pro SO₂, CO, NO_x, TZL, TK, dále Zn, HF, HCl, celkový C, PCB₇, PCDD/F, celkové PAHs a VOC. Dále se zde prováděla detailní analýza emisí TK, PCB, dioxinů a furanů a skupiny polyaromatických uhlovodíků. To je prováděná akreditovanou společností [11].

Základním měřítkem vlivu průmyslové výroby je množství cizorodých látek uvolňovaných ve formě plyných a pevných emisí. Množství vypouštěných emisí do ovzduší podléhá ověření a dodržování stanovených limitů. Výrobce dané technologie má ze zákona povinnost realizovat emisní měření základních škodlivin na komíně před jejich vstupem do atmosféry v rozsahu předepsané platnou legislativou. Níže v tabulce je uveden počet provozních hodin pecí, kde probíhá emisní měření [11].

období	RP1	RP2	Počet provozních hodin obou pecí
2010	2 606,5	7 136,5	9 743
2011	2 851	7 299	10 150
2012	1 476,5	7 245,5	8 722
2013	0	7 304,5	7 307,5
2014	869	7 658	8 527

Tab. č. 1: Provozní hodiny rotačních pecí (zdroj: Monitoring trvalého provozu spalování paliv, tepelného zpracování odpadů a jejich vliv na životní prostředí)

Hodnoty v tabulce ukazují nevýrazné kolísání produkce. Jedná se tedy o ustálený objem provozu. Díky nasazení nové odlučovací techniky byl zaznamenán celkové snížení objemu produkovaných emisí, tedy i zlepšení imisního stavu v okolí cementárny [11].

Dále je důležitá také skladba paliva, která se většinou skládá z uhlí, celých nebo drcených pneumatik, sušeného vodárenského kalu, kapalné alt. palivo Meopta, tuhé alternativní palivo [11].

Měření emisí akreditovanou společností – prováděl se odběr vzorků persistentních organických látek metodou filtračně kondenzační, a pro stanovení hmotnostních koncentrací persistentních organických látek výpočtem z naměřených hodnot s využitím subdodavatele provedených chemických analýz – vychází z ČSN EN 1948-1. Tento postup je použitelný pro proud plynu v podstatě konstantní hustoty, teploty, průtoku a tlaku v měřících profilech. Používá se v případech, kdy je Reynoldsovo číslo proudu plynu v okolí Prandtlovy trubice větší než 1200, tlaková difference v otvorech Prandtlovy je větší než 5 Pa. **Zařízení se skládá:** hubice sondy, držák filtru, spojovací trubice, chladič duplikátorový, cartridge se sorbantem, sběrač kondenzátoru, plášťový s možností chlazení (materiálem těchto součástí je borosilikátové sklo), dále vývěva olejová rotační, chladicí zařízení-příprava ledové lázně, čerpadlo ledové vody, teploměr, diferenční tlakoměr, tlakoměr, regulační ventil, Prandtlova sonda, teploměrné činidlo, dýza (materiálem je nerez). **Postup měření:** před měřením probíhá příprava v laboratoři, kde se vypláchne aparatura – hubice, držáky filtrů, spojovací trubice, chladiče. Součástky jsou vysušeny. Všechny díly jsou zabaleny do mikrotenové folie a uloženy do přepravních kazet a kufříků. V terénu se zvolí umístění vzorkovacích bodů. Na místě měření je sestavena aparatura, nejlépe v zakrytém a čistém prostoru poblíž měřícího místa. Nejdříve se sestaví skelet a poté jsou umísťovány a spojovány díly vlastní aparatury tak, aby nespojované části zůstávaly uzavřeny. Spoje jsou prováděny na doraz sklo na sklo skrz spojovací trubici na koncích přetěsněnou silikonovou hadičkou. Po sestavení aparátu se provede terénní slepý pokus – tzv. zkušební vzorek odebraný na vzorkovacím stanovišti stejným způsobem jako série reálných vzorků s tím rozdílem, že v průběhu odběru tohoto jim neprochází plyn. Poté probíhá vlastní odběr. **Vyjmutí vzorku:** po ukončení odběru a vychlazení sondy je odpojen držák filtru s filtrem, spojovací trubice je uzavřena. Držák s filtrem je přenesen na místo manipulace se vzorky, celý včetně hubice je zvenčí opatrně očištěn od prachu, přes těsnící PTFE pásku je nalepen štítek a napsáno pořadové číslo. Poté je držák s filtrem zabalen do alobalu tak, aby hubice i opačný konec byly dobře utěsněny. Opět je označen štítkem s číslem vzorku, vložen do sáčku s „bublínkové“ folie (ochrana proti otřesům), vložen do PE sáčku a opět označen číslem vzorku-popisovačem s lihovou bází. Takto

je uložen do mrazáku. **Vyjmutí kazety s XAD2** (polymerní absorbent): je odpojen od chladiče, chladič je na konci uzavřen. Kazeta je na obou koncích uzavřena a přenesena na místo manipulace se vzorky. Přímou na sklo je lihovým popisovačem napsáno číslo vzorku a označení spiku (pro orientaci v analytické laboratoři subdodavatele). Štítkem s číslem vzorku je kazeta označena na horní hraně těsnicího šroubení, vložena do PE sáčku a zasunuta do izolační trubice („Mirelon“). Poté je vložena do mrazáku. V mrazáku jsou vzorky přepravovány do laboratoře – na dně mrazáku jsou trvale umístěny mrazicí desky a PET lahve s vodou (ledem). **Aparatura** je rozebrána a určená k výplachu (spojovací trubice a chladič) jsou na obou koncích uzavřeny a vše je uloženo do přepravních kazet a kufříků a odvezeno do laboratoře. Poté jsou **předány vzorky** subdodavateli po předchozí telefonické domluvě. Se vzorky je předán Průvodní list vzorků [11].

5.1 Výsledky měření emisí

V mé práci se zabývám měřením emisí od roku 2010 do roku 2014. Pro mou práci jsem si vybrala naměřené emise NO_x , SO_2 a TZL. Data, které mám k dispozici jsem zpracovala a vyhodnotila.

Naměřené emise NO_x – byly stanoveny vždy k prvnímu dni v měsíci v jednotkách mg/Nm^3 , jednalo se o průměrné denní hodnoty. V grafu č. 1 uvidíme hodnoty naměřených emisí za každý měsíc od roku 2010 do roku 2014. Máme zde uvedené hodnoty limitů emisí dle BAT jak spodní hranici, tak i horní hranici. Emise byly měřeny na obou rotačních pecích. Kde byla uvedena hodnota 0 – tak pec byla odstavena. Pokud je hodnota menší než $200 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ znamená to, že buď na peci byla porucha anebo byla odstavena. Po většinu roku se využívá rotační pec č. 2, kde proběhla rekonstrukce rotační pece a byl zde umístěn kalcinátor, což má za následek snížení celkových emisí NO_x . V průměru je pec č. 2 v provozu 320 dnů za rok. Pec č. 1 je v provozu cca 65 dnů za rok. Jedná se taky o průměrnou hodnotu. Z uvedeného grafu vyplývá, že hodnoty NO_x nepřekračují limit, který je stanoven dle BAT. Lze tedy vidět, že jsou dodržovány všechny požadavky dle platné legislativy. Koncentrační hodnoty emitovaného NO_x se v době měření pohybují v rozmezí 40 až 60% emisního limitu.

Naměřené emise SO_2 – byly stanoveny vždy k prvnímu dni v měsíci v jednotkách mg/Nm^3 , jednalo se o průměrné denní hodnoty. V následujícím grafu č. 2 uvidíme hodnoty

naměřených emisí za každý měsíc od roku 2010 do roku 2014. Máme zde uvedené hodnoty limitů emisí dle BAT jak spodní hranici, tak i horní hranici. Emise byly měřeny na obou rotačních pecích. Kde byla uvedena hodnota 0 – tak pec byla odstavena. V průměru je pec č. 2 v provozu 320 dnů za rok. Pec č. 1 je v provozu cca 65 dnů za rok. Jedná se taky o průměrnou hodnotu. Z uvedeného grafu vyplývá, že hodnoty SO₂ byly ještě menší než spodní hranice limitů dle BAT. Díky postupné renovaci celého závodu je šetřeno životní prostředí a tím i okolí kolem podniku. Oxid siřičitý, který se uvolňuje do ovzduší dlouhodobě, v době měření nedosahuje ani 40% obecného legislativního emisního limitu, který je 50 mg/Nm³. IPPC pro příslušný kraj stanovil na základě výjimky dané dle skladby suroviny limit 260 mg/Nm³.

Naměřené emise TZL – byly stanoveny vždy k prvnímu dni v měsíci v jednotkách mg/Nm³, jednalo se o průměrné denní hodnoty. V následujícím grafu č. 3 uvidíme hodnoty naměřených emisí za každý měsíc od roku 2010 do roku 2014. Máme zde uvedené hodnoty limitů emisí dle BAT jak spodní hranici, tak i horní hranici. Emise byly měřeny na obou rotačních pecích. Kde byla uvedena hodnota 0 – tak pec byla odstavena nebo tam byla porucha, proto nebyly naměřeny emise TZL. V průměru je pec č. 2 v provozu 320 dnů za rok. Pec č. 1 je v provozu cca 65 dnů za rok. Jedná se taky o průměrnou hodnotu. Z grafu vyplývá, že naměřené hodnoty TZL v roce 2010 dosahovaly horní hranice stanovených limitů dle BAT, někdy byly i překročeny. V roce 2011 až 2012 horní hranice byly překročeny. V roce 2012 až 2013 byla provedena celková rekonstrukce hlavních pecních filtrů, výměna elektroodlučovačů za textilní filtry. Tím se významně snížily emise tuhých znečišťujících látek. Dále došlo k omezení prašnosti skladu alternativních paliv – zastřešení a obložení vykládky tuhých alternativních paliv.

Všechny vyhodnocené grafy jsou dány do příloh, z důvodu jejich velikosti.

6. ANALÝZA KVALITY OVZDUŠÍ V OKOLÍ CEMENTÁŘSKÉHO PODNIKU

Cementárna v minulých letech významně investovala do celého provozu, kde došlo k výrazné ekologizaci závodu. I tak tvoří cementárna dlouhodobě jeden z dominantních zdrojů emisí v celé oblasti na východ od nejbližšího města. Kvalita ovzduší dané lokality je mimo průmyslové zdroje, ale je výrazně ovlivněna i místními malými lokálními zdroji, jako jsou domácí či drobné provozovny. Dále se na kvalitě ovzduší podílejí dálkové přenosy mikročástic pevných emisí, jejichž původce je často vzdálen desítky až stovky kilometrů [11].

Imisní situace je v dané lokalitě výrazně ovlivněna i většími částicemi, které se do ovzduší dostávají vlivem sekundární prašnosti. Vlivem přírodních podmínek a meteorologických podmínek je koncentrace prachových částic největší v letním období, kdy kromě těchto částic se do ovzduší dostává i velké množství přírodního pylu. Dlouhodobě se sledují imisní škodliviny, jako jsou částečně polétavý prach PM, oxidy dusíku NO_x a oxid siřičitý SO₂ [11].

Jedním z nejrizikovějších imisních polutantů je polétavý prach, kde jsou jednotlivé částice velké 10 μm a díky vířivým proudům vzduchu dlouhodobě rozptylovány do ovzduší. Měření v okolí cementárny probíhá již dlouhodobě a složí k tomu dvě trvale instalované stanice kontinuálního imisního měření. Automatická monitorovací stanice je vybavena automatickými měřicími systémy tří frakcí polétavého prachu a analyzátory pro kontinuální měření oxidu dusíku a oxidu siřičitého. Druhá měřicí stanice je vybavena automatickými kontinuálními analyzátory tří frakcí prachu PM₁₀, PM_{2,5} a PM₁ [11].

Oxidy dusíku NO_x – prvek dusíku díky svým vlastnostem vytváří při hoření řadu oxidů. Vzhledem k této skutečnosti jsou imisní koncentrace této směsi limitovány z důvodu ochranného opatření pro růst a k podpoře vegetace [11].

V grafu č. 4 máme vyhodnocení od roku 2010 do roku 2014. Hodnoty byly měřeny vždy k prvnímu dni v měsíci v jednotkách ug/m³. Jednalo se o celodenní průměrnou hodnotu. Máme zde vyhodnoceny imise NO_x z cementárny a z akreditované

imisní stanice, kterou zaštiťuje ČHMÚ. Dále zde vidíme směr větru v daný den a porovnání s emisním hodnocení.

Dle Nařízení vlády 42/2011 Sb. je vyhlášený imisní limit pro ochranu zdraví na kalendářní rok, který je stanoven na 30 ug/m^3 [11].

Nejvyšší průměrné koncentrace oxidů dusíků jsou naměřeny v zimním období a to od října do března. Nejnížší hodnoty oxidu dusíku jsou zaznamenány v letních měsících od května do srpna. Hodnoty byly překročeny v roce 2010 v měsíci únor a červen. V roce 2012 byl překročen imisní limit v měsíci říjen. V roce 2014 byl překročen imisní limit v měsíci listopad.

Oxid siřičitý SO_2 – vlivem legislativní regulace a změny technologie výroby dochází ke snížení koncentrací do ovzduší. Tím, že jsou celkově hodnoty v celé České republice velmi nízké, byl imisní limit zrušen. Dříve byl imisní limit stanoven na hodnotu 50 ug/m^3 . Cementárna má stanovený imisní limit pro ochranu zdraví na kalendářní rok a zimní období (od 1. října do 31. března) 20 ug/m^3 dle Nařízení vlády 42/2011 Sb. [11].

Nejvyšší průměrné hodnoty byly opět v zimním období a nejnižší v letním období. Imisní hodnoty jsou uvedeny v grafu č. 5, kde máme uvedené imise z cementárny tak i imise z akreditované měřící stanice, kterou zaštiťuje ČHMÚ. Dále zde vidíme směr větru v daný den a porovnání s emisním hodnocením. Byly zde zaznamenané hodnoty za období 2010 až 2014. Imisní hodnoty byly měřeny vždy k prvnímu dni v měsíci, v jednotkách ug/m^3 . Jednalo se o celodenní průměrnou hodnotu.

Poléťavý prach PM_{10} – imisní limit pro ochranu zdraví, který je daný v ČR Zákonem č. 201/2012 Sb. má hodnotu 50 ug/m^3 za 24 hodin. Je povoleno, že za kalendářní rok se může překročit 35krát. Roční imisní limit pro ochranu zdraví má potom hodnotu 40 ug/m^3 [11].

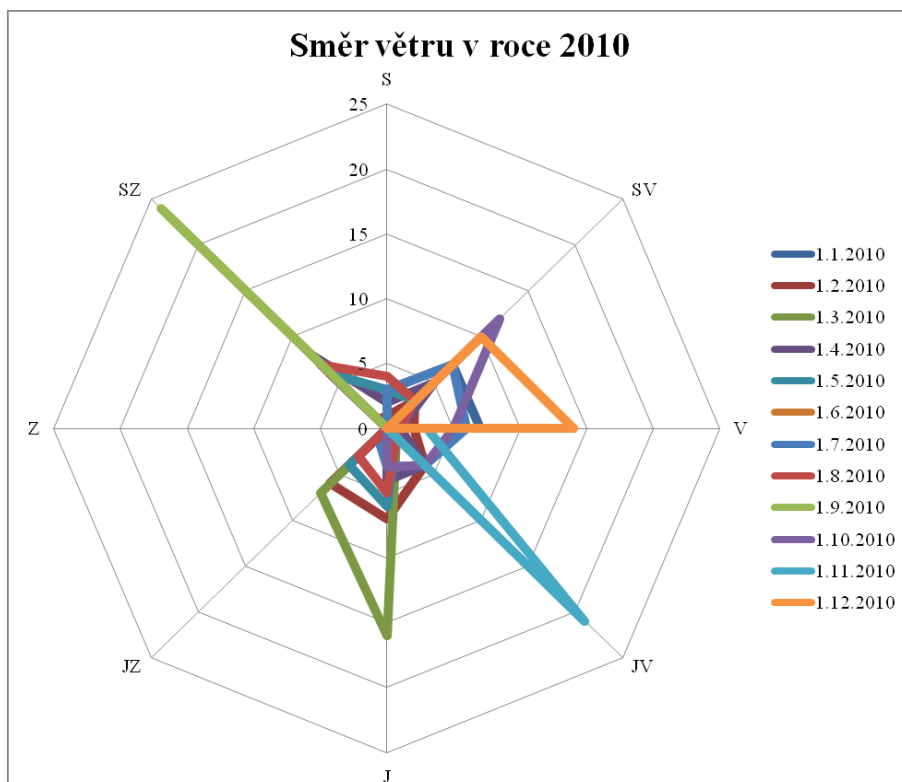
V grafu č. 6 jsou zaznamenány naměřené hodnoty imisí z cementárny, tak i imisní hodnoty z akreditované měřící stanice, kterou zaštiťuje ČHMÚ. Dále zde vidíme směr větru v daný den a porovnání s emisním hodnocením. Byly zde zaznamenané hodnoty za období 2010 až 2014. Imisní hodnoty byly měřeny vždy k prvnímu dni v měsíci,

v jednotkách $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Jednalo se o celodenní průměrnou hodnotu. Pokud zde byla uvedena hodnota 0, probíhá ve stanici kalibrace, může se též jednat technický problém, kdy imisní stanice nemohla hodnoty zaznamenat. K překročení imisních limitů v roce 2010 došlo v měsíci prosinec, v roce 2011 se jednalo o měsíce březen, listopad a prosinec. V roce 2012 byl imisní limit překročen v měsíci únor, v roce 2013 byl imisní limit překročen v měsíci leden, taktéž byl imisní limit v roce 2014 překročen v měsíci leden a duben. Tyto částice sedimentují v blízkosti zdroje, díky své větší hmotnosti. Lze je tedy považovat za indikátory znečištění ovzduší místními emisními zdroji. Podíl má také resuspenze prachových částic v blízkém okolí, ten narůstá v období léta, kdy je méně srážek. V letním a jarním období je další významnou složkou množství pylu přítomného v ovzduší.

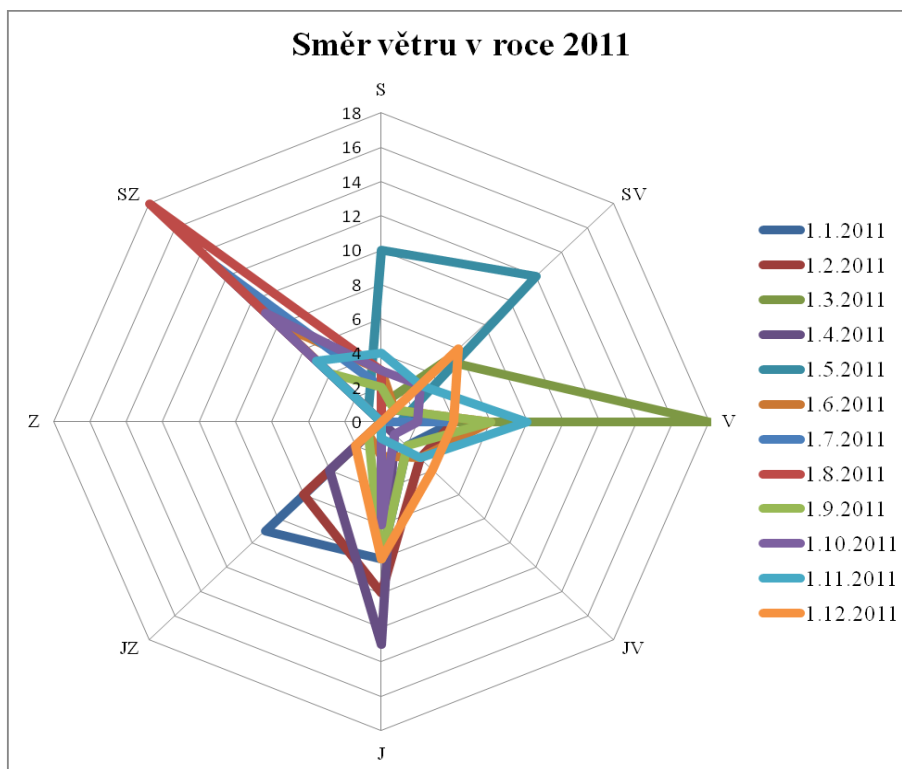
Všechny vyhodnocené grafy jsou dány do příloh, z důvodu velikosti.

6.2 Porovnání korelací se směrem větru

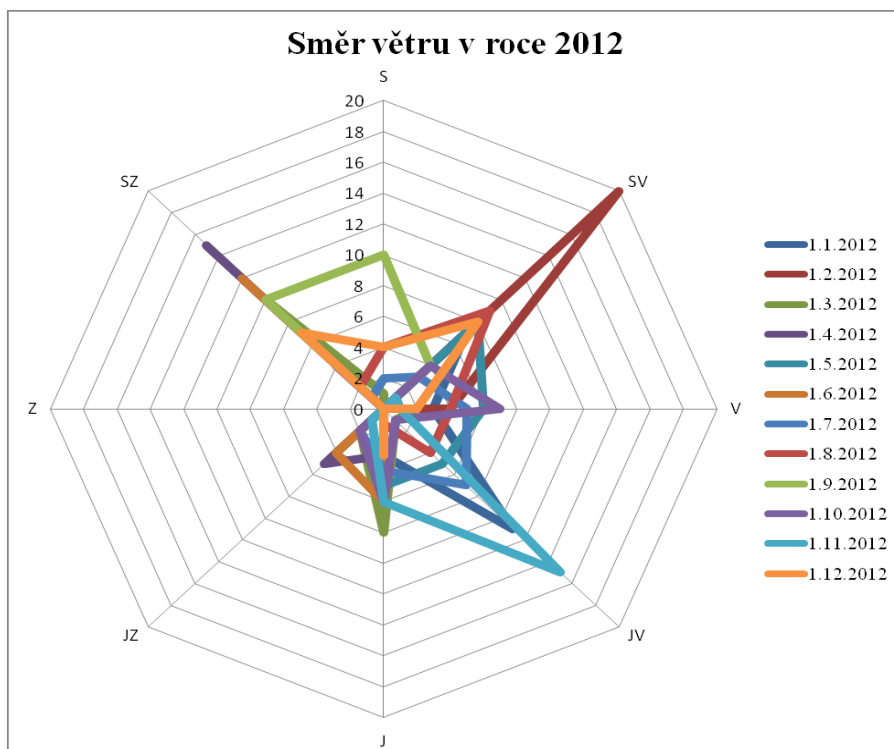
Kolerační analýza zkoumá vztahy proměnných pomocí závislostí. Byla provedena korelace mezi imisemi z cementárny a směrem větru, dále korelace mezi imisemi z měřicí stanice a směrem větru. Také se posuzovala korelace mezi naměřenými hodnotami emisí a jejich závislost na naměřených hodnotách imisí. V následujících grafech vidíme za jednotlivé roky směr větru. Údaje o směru větru jsou zaznamenány v hodinových intervalech z meteorologické stanice. Směr větru je zapsán ve stupních.



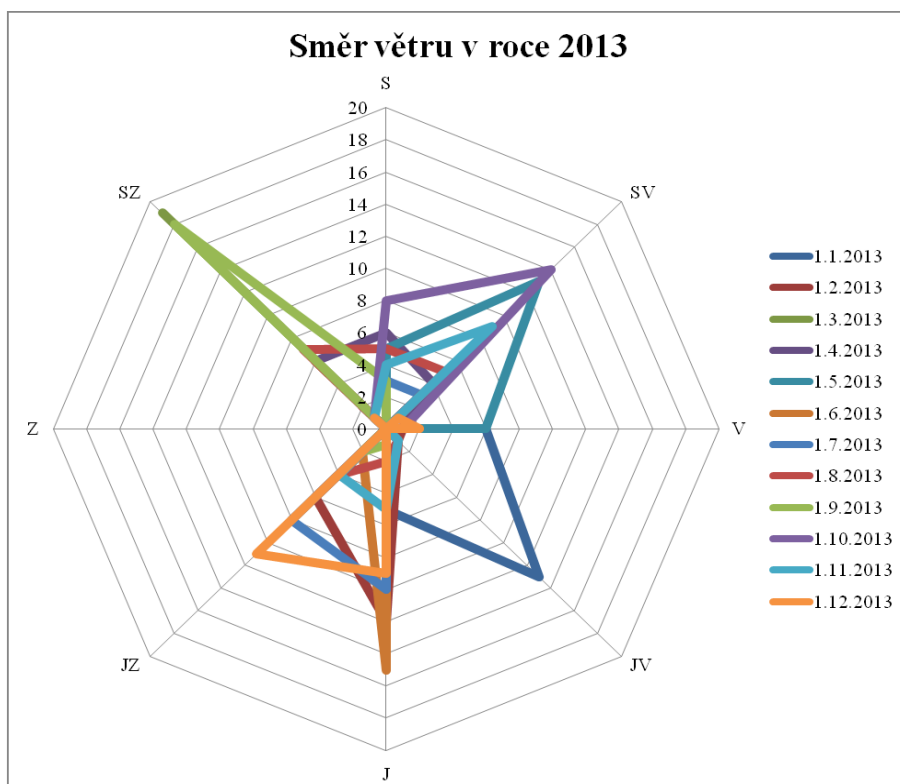
Graf č. 7: Směr větru za rok 2010



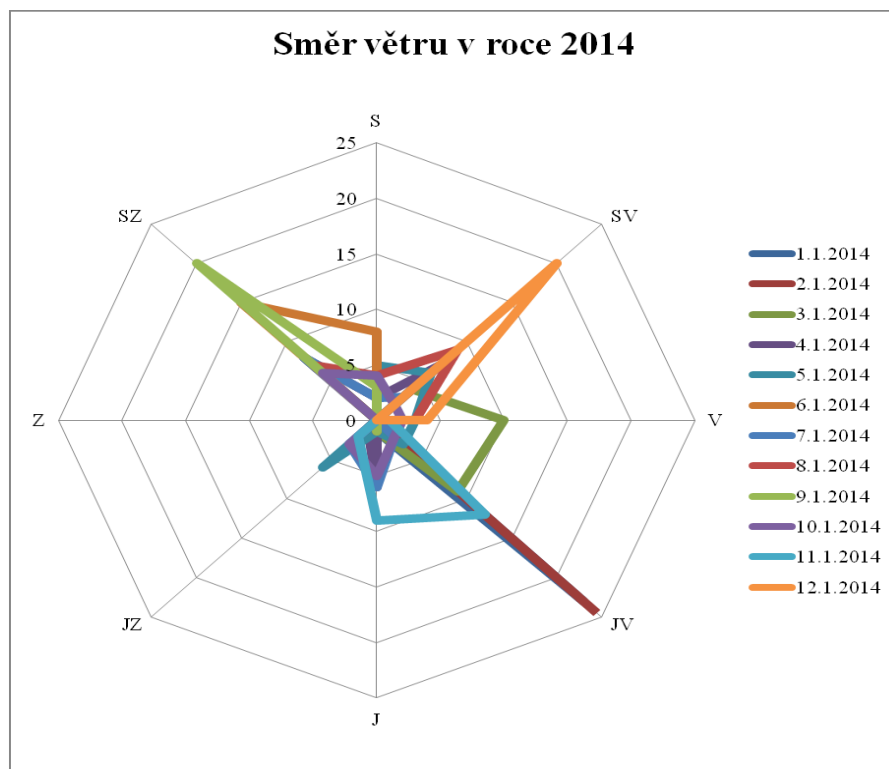
Graf č. 8 Směr větru za rok 2011



Graf č. 9: Směr větru za rok 2012



Graf č. 10: Směr větru za rok 2013



Graf č. 11: Směr větru za rok 2014

7. DISKUZE MOŽNÝCH OPATŘENÍ VEDOUcí KE SNÍŽENí EMISí CEMENTÁŘKÉHO PODNIKU

Dle zákona č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezení znečištění, kde jsou uvedeny emisní limity dle BAT (Best Available Techniques – nejlepší dostupné techniky), bylo zjištěno, že naměřené hodnoty odpovídají daným limitům, kromě tuhých znečišťujících látek. Emise NO_x z obou rotačních pecích jsou v normě, není překročena horní hranice 800 mg/Nm³. Naměřené hodnoty SO₂ jsou menší, než spodní hranice limitů, která je 50 mg/Nm³. Emisní limit dle BAT pro TZL je stanoven na hodnoty 10 až 20 mg/Nm³. Tento limit byl překročen v roce 2010, 2011 a 2012. V roce 2013 byla provedena celková rekonstrukce hlavních pecních filtrů a výměna elektroodlučovačů za textilní filtry. Tím došlo k výraznému snížení emisních limitů pod spodní hranici emisního limitu dle BAT.

Podle referenčního dokumentu o nejlepších dostupných technikách (BREF) nazvaný „**Průmyslová odvětví výroby cementu, vápna a oxidu hořečnatého**“ z roku 2010 „emise prachu vznikají zejména ze skladování a manipulaci se surovinami, a slínkem a také z provozu vozidel používaných ve výrobě. Pro minimalizaci možných zdrojů rozptýleného prachu je vhodné jednoduché a lineární uspořádání závodu. Zde jsou uvedeny opatření a techniky pro snížení množství rozptýleného prachu. Prašné operace jako je drcení, třídění a mísení provádět v uzavřeném prostoru. Zakrytí dopravníků a elevátorů, které jsou konstruovány jako uzavřené systémy, pokud je pravděpodobné uvolnění difuzních emisí z prašných materiálů. Omezení vzduchových netěsností a míst, kde dochází k rozsypaní materiálu, dokončení instalace. Použití automatických zařízení a řídicích systémů. Zajištění bezporuchového provozu. Mobilní a stacionární vysávání prachu pro řádnou a úplnou údržbu zařízení. Zachycování do látkových filtrů, použití uzavřených skladovacích prostor s automatickým manipulačním systémem. Pro činnosti expedice a nakládky cementu použití ohebných plnicích hadic vybavených systémem na odsávání prachu, které jsou umístěny proti nákladové plošině auta. Dalším zdrojem emisí jsou tzv. bodové emise prachu z cementárny. Jedná se o pecní systémy, chladiče slínku a mlýny surovin, cementu a uhlí a také pomocné procesy. Hlavní část jemného prachu PM₁₀ může být snížena zredukováním celkové dávky prachu a použitím vysoce účinných systémů odlučování prachu“ [1].

Aby cementárna zabránila vzniku emisí prachu, bylo realizováno umístění nových odprašovacích zařízení v lomu, ve výpalu slínku a v dopravních cestách surovin. Byla provedena výměna odlučovacích zařízení v oblasti expedice cementu. V cementárně je naistalováno celkem padesát odlučovacích zařízení, které jsou velmi účinné. Tím došlo k celkovému snížení podílů úletů tuhých znečišťujících látek. V této chvíli bych neinstalovala další zařízení na snížení celkové prašnosti.

Pro snížení emisí NO_x dle referčního dokumentu BREF z roku 2011 „se za vhodné považují jednotlivé opatření nebo kombinace primárních anebo procesně integrovaných a sekundárních opatření či technik. Primární opatření jsou – ochlazování plamene, např. vysokým obsahem vody, kapalně nebo pevně odpady, hořáky s nízkými emisemi NO_x, spalování ve středu pece, přidavek mineralizátorů pro zlepšení palitelnosti surovinové moučky, postupné spalování rovněž v kombinaci s předkalcinátorem a použití optimalizované palivové směsi, optimalizace procesu. Dále lze použít sekundární opatření pro snížení emisí NO_x, např. technika SNCR a vysoce účinná technika SNCR a technika SCR“ [1].

V závodu se používá zařízení pro předhřev, kde účelem toho zařízení je, že při požadavku vysoké předkalcinace suroviny před vstupem do pece lze zavést do kalcinační komory směs spalin a vzduchu od chladiče. Dále lze zavést jinou část vzduchu mezi kalcinační komorou a odlučovačem kalcinátu od chladiče a do přívodního kanálu cyklonového stupně zavést část kalcinačního paliva. Zařízení umožňuje širokou regulaci vzduchu bez proměnlivého nebo nadměrného škrcení, který je přiváděn od chladiče. Tím se využívá spalování kalcinačního paliva i veškerého falešného vzduchu přiváděného do dolní části šachtového výměníku. Při použití tuhých paliv se omezuje vlivem redukčního prostředí v přívodním kanálu cyklonového stupně tvorba sulfátů vápenatých a alkalických, také se omezuje koncentrace kyslíčnicku dusíku. Nespálené zbytky kalcinačního paliva jsou spolu se surovinou svedeny do proudu pecních plynů obsahující kyslík nebo dohoří v peci. Konstrukce kalcinátorů jsou efektivním prostředkem pro snížení emisí NO_x. V závodě jsou instalovány dva druhy kalcinačních kanálů a jeden dvoustupňový kalcinační systém. Výhodou kalcinačních kanálů je, že se spálí až 60% paliva, redukuje se NO_x, konstrukce umožňuje možnost modernizace se selektivní nekatalytickou redukcí NO_x. Díky této investici poklesly celkové emise NO_x. V budoucnu

bude zapotřebí zařízení modernizovat. Pokud bude dostatek investic, může být instalována technologie selektivní nekatalytická redukce. V procesu to znamená, že se vstřikuje tryskou přímo ze spalovací komory čpavek při teplotě 850 až 1 000 °C. Oxidy dusíku reagují na čpavek a rozkládají se na dusík a vodu, to vede ke snížení emisí NO_x.

Prvním krokem pro snížení emisí SO₂ podle referenčního dokumentu BREF z roku 2010 *„je optimalizace primárního procesu, jako je např. optimalizace procesu výpalu slínku včetně vyrovnaní provozu pece, rovnoměrného rozložení horké moučky ve stoupacím vedení pece či výběru surovin a paliv. Kromě toho má pro zachycování SO₂ u výstupu z pece zásadní význam koncentrace kyslíku v oblasti jejího vstupu. Zvýšený obsah kyslíku vede u dlouhých pecí ke snížení obsahu SO₂ a zvýšení obsahu NO_x. Proces výpalu slínku ovšem vyžaduje pro dosažení specifikované kvality produktu nadbytek kyslíku. Z toho důvodu je vždy k dispozici přívod dostatečného množství kyslíku, který zajišťuje tvorbu sulfátů ve spodní části cyklonového výměníku nebo v horkoplynné komoře roštového předehříváče. Tyto sulfáty jsou ze systému pece odváděny prostřednictvím slínku. V zájmu ochrany životního prostředí je třeba najít rovnováhu tak, že optimalizujeme obsah NO_x, SO₂ a CO pomocí úpravy obsahu kyslíku na konci procesu“* [1]. Dle dokumentu BAT se používá pro snížení emisí přísada absorbentem nebo mokrá pračka plynu.

V cementárně se pro snížení emisí SO₂ používá absorbent. Jedná se o přísadu hašeného vápna, kdy se přísada sorbentu přidá do suroviny. Výhodou je, příměs obsahuje vápník a díky tomu lze proces zahrnout do výpalu slínku. Hašené vápno se do rotačních cementářských pecích přidává v horním stupni cyklonového odlučovače při teplotě 350° až 400° C.

Pro snížení emisí SO₂ lze použít mokrou pračku plynu. *„SO_x je absorbován tekutinou či kalem, který je rozstříkovan ve sprchové věži. Absorbentem je uhličitán vápenatý. Mokré pračky vykazují nejvyšší účinnost odstraňování rozpustných kyselých plynů u všech metod odsiřování kouřových plynů s nejnižšími činiteli překročení stechiometrických podmínek a nejnižší mírou produkce pevného odpadu. Mokré pračky plynu ovšem také podstatně snižují obsah HCl, zbytkového prachu a v menší míře i emise*

kovů a NH₃“ [1]. Problém je, že se spotřebuje více energie, vzniká více odpadu produkovaného při odsiřování, vznikají vyšší emise CO₂.

Z toho to důvodu závod používá ke snížení emisí SO₂ absorbent. Jediný negativní dopad může mít na kvalitu surovinové moučky.

Korelační analýzou bylo zjištěno, že naměřené imise z cementárny i z měřicí stanice nemají přímou závislost na směru větru. Přímou závislost nemají mezi sebou ani naměřené emise a imise. Emisní koncentrace NO_x a SO₂ se v posledních letech moc nemění. Vše je kontrolováno kontinuálním měřením na komíně cementárny, tudíž jsou dodržovány požadované limity. Od instalace odlučovačů pevné fáze před vstupem spalín do komína se daří udržovat emisní koncentrace TZL. Hodnocení imisních zátěží pro polétavý prach PM₁₀ jsou od roku 2013 velmi nízké, v průměru nepřesahují 20 µg.m⁻³. Pokud je podíl jemné frakce v rozmezí 50 až 60% jedná se o letní období, kdy má velký význam pyl, který se nachází v okolí podniku. Oxidy dusíku výrazně kolísají většinou v zimním období v důsledku špatných rozptylových podmínek, dále atmosférických podmínek, kdy vzniká fotochemický smog. Imisní stav koncentrací SO₂ je setrvalý a velmi dobrý. Z toho vyplývá, že závod nepředstavuje pro své okolí rizika, která by škodila lidskému zdraví nebo okolnímu ekosystému. Výsledky lze hodnotit ve vztahu k emisním a imisním limitním hodnotám úspěšně.

8. ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřená na princip výroby cementu a její vliv na okolí. Výroba cementu byla popsána od výrobních procesů a technik, dle referenčního dokumentu o nejlepších dostupných technikách (BREF) nazvaný „**Průmyslová odvětví výroby cementu, vápna a oxidu hořečnatého**“ z roku 2010. Dále zde byla zahrnuta legislativa, která souvisí s výrobou cementu ve vztahu k ochraně ovzduší. V práci jsou popsány emisní limity dle BAT pro emise prachu, emise oxidu dusíku a emise oxidu siřičitého. Dále je zde popsána posuzovaná společnost, kde jsou uvedeny procesy a techniky při výrobě cementu. Nejdůležitější částí mé práce je emisní analýza výroby cementu a analýza kvality ovzduší v okolí cementářského podniku, kde se zabývám hlavně naměřenými emisemi.

Emisní měření byla prováděna na výstupech rotačních pecí se stanovením emisních parametrů všech škodlivin dle IPPC KÚ OŽP pro technologie spalování paliv a odpadů v cementářských rotačních pecích. Základním měřítkem vlivu průmyslové výroby bylo množství cizorodých látek uvolňovaných ve formě plyných a pevných emisí. Množství vypouštěných emisí do ovzduší podléhá ověření a dodržování stanovených limitů. Výrobce dané technologie má ze zákona povinnost realizovat emisní měření základních škodlivin na komíně před jejich vstupem do atmosféry v rozsahu předepsané platnou legislativou. V mé práci se zabývám měřením emisí od roku 2010 do roku 2014. Pro mou práci jsem si vybrala naměřené emise NO_x, SO₂ a TZL. Naměřené emise byly stanoveny vždy k prvnímu dni v měsíci v jednotkách mg/Nm³, jednalo se o průměrné denní hodnoty. **Naměřené hodnoty emisí NO_x** nepřekračují limit, který je stanoven dle BAT. Limit je stanoven na hodnoty 400 až 800 mg/Nm³. Koncentrační hodnoty emitovaného NO_x se pohybují v rozmezí 40 % až 60 % emisního limitu. Lze vidět, že jsou dodržovány všechny požadavky dle platné legislativy. Díky investicím do technologií, které se používají v cementárně, se daří limity dodržovat. Důležitý vliv má zařízení pro předhřev a kalcinátor. Díky těmto zařízením jsou emise NO_x snižovány. **Naměřené hodnoty emisí SO₂** byly pod spodní hranicí BAT. Díky postupné renovaci celého závodu je šetřeno životní prostředí a tím i okolí kolem podniku. Oxid siřičitý, který se uvolňuje do ovzduší dlouhodobě, nedosahoval v době měření ani 40% obecného legislativního emisního limitu, který je 40 mg/Nm³. Emisní limity dle BAT pro

TZL jsou 10 až 20 mg/Nm³. **Naměřené hodnoty emisí TZL** v roce 2010 dosahovaly horní hranice stanovených limitů dle BAT, v některých měsících byly hodnoty i překročeny. Taktéž v letech 2011 až 2012 byly emisní limity překročeny. V roce 2012 až 2013 byla provedena celková rekonstrukce hlavních pecních filtrů, výměna elektroodlučovačů za textilní filtry. Tím se významně snížily emise tuhých znečišťujících látek. Dále došlo k omezení prašnosti skladu alternativních paliv – zastřešení a obložení vykládky tuhých alternativních paliv. Dvakrát ročně se provádí měření emisí **akreditovanou společností**, kde se provádí odběr vzorků persistentních organických látek metodou filtračně kondenzační, a pro stanovení hmotnostních koncentrací persistentních organických látek výpočtem z naměřených hodnot s využitím subdodavatele provedených chemických analýz – vychází z ČSN EN 1948-1.

Imisní situace byla v době měření v dané lokalitě výrazně ovlivněna i většími částicemi, které se do ovzduší dostávají vlivem sekundární prašnosti. Vlivem přírodních podmínek a meteorologických podmínek byla koncentrace prachových částic největší v letním období, kdy kromě těchto částic se do ovzduší dostává i velké množství přírodního pylu. Dlouhodobě se sledují imisní škodliviny, jako jsou částečně poléťavý prach PM, oxidy dusíku NO_x a oxid siřičitý SO₂. Hodnoty byly vyhodnoceny za období 2010 až 2014, byly měřeny vždy k prvnímu dni v měsíci v jednotkách ug/m³. Jednalo se o celodenní průměrnou hodnotu. **Imise NO_x** jsou dle Nařízení vlády 42/2011 Sb. stanoveny limitem pro ochranu zdraví na kalendářní rok, který je 30 ug/m³. Nejvyšší průměrné koncentrace oxidů dusíků jsou naměřeny v zimním období a to od října do března. Nejnížší hodnoty oxidu dusíku byly zaznamenány v letních měsících od května do srpna. Hodnoty byly překročeny v roce 2010 v měsíci únor a červen. V roce 2012 byl překročen imisní limit v měsíci říjen. V roce 2014 byl překročen imisní limit v měsíci listopad. Pro **imise SO₂** byl imisní limit zrušen, jelikož jsou celkově hodnoty v celé České republice velmi nízké. Dříve byl imisní limit pro ochranu zdraví stanoven na hodnotu 50 ug/m³. Cementárna má stanovený imisní limit pro ochranu zdraví na kalendářní rok a zimní období (od 1. října do 31. března) 20 ug/m³ dle Nařízení vlády 42/2011 Sb. Nejvyšší průměrné hodnoty byly opět v zimním období a nejnižší v letním období. **Poléťavý prach PM₁₀** – imisní limit pro ochranu zdraví, který je daný v ČR Zákonem č. 201/2012 Sb. na hodnotu 50 ug/m³ za 24 hodin. Je povoleno, že za kalendářní rok se může překročit 35krát. Roční limit pro ochranu zdraví má potom hodnotu 40 ug/m³. K překročení imisních limitů

v roce 2010 došlo v měsíci prosinec, v roce 2011 se jednalo o měsíce březen, listopad a prosinec. V roce 2012 byl imisní limit překročen v měsíci únor, v roce 2013 byl imisní limit překročen v měsíci leden, taktéž byl imisní limit v roce 2014 překročen v měsíci leden a duben. Tyto částice sedimentují v blízkosti zdroje, díky své větší hmotnosti. Lze je tedy považovat za indikátory znečištění ovzduší místními emisními zdroji. Podíl má také resuspenze prachových částic v blízkém okolí, ten narůstá v období léta, kdy je méně srážek. V letním a jarním období je další významnou složkou množství pylu přítomného v ovzduší.

Korelační analýzou bylo zjištěno, že naměřené hodnoty emisí a imisí nejsou na sobě závislé. Což znamená, že cementárna nepředstavuje rizika, která by ohrožovala kvalitu ovzduší v daném okolí. Podle Vyhodnocení kvality ovzduší v roce 2015 Českým Hydrometeorologickým Ústavem nejsou průměrné roční koncentrace PM_{10} překračovány v okolí závodu. Koncentrace PM_{10} dobře korelují s ostatními stanicemi imisního monitoringu. Naměřené koncentrace PM naznačují, že vyšší koncentrace byly naměřeny, když vítr proudí od východu. Koncentrace NO_2 je podlimitní. V případě NO (hlavním zdrojem je doprava) bývá koncentrace vyšší, když je proudění od severozápadu. Koncentrace SO_2 je podlimitní a to jak pro denní imisní limit, tak i pro hodinový imisní limit [12].

Na základě korelační analýzy bylo zjištěno, že vyšší koncentrace byly naměřeny při východním prouděním, kdy zdrojem jsou lokální topeniště. Nejvyšší koncentrace byly naměřeny v zimním období, kdy jsou zhoršené rozptylové podmínky.

Ze Zprávy o monitoringu emisí a imisí v okolí závodu z roku 2015, kterou zpracoval Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě vyplynulo, že závod nepředstavuje žádné reálné zdravotní či ekologické riziko pro svoje okolí. V posledních letech nedochází k výrazným změnám ve většině sledovaných parametrů [11].

Ze všech poskytnutých a zpracovaných dat je zřejmé, že závod nepředstavuje žádnou hrozbu na kvalitu ovzduší ve svém okolí. Dodržovány jsou všechny limity, které jsou v souladu s platnou legislativou. Zpracované tabulky a data jsou uloženy na kompaktním disku. Z důvodu velikosti nemohly být vloženy do diplomové práce.

9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách.: Průmyslová odvětví výroby cementu, vápna a oxidu horečnatého.* [online]. Evropská komise, 2010 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecisteni/referencni-dokumenty-bref/2016/12/BREF-Cement-vapno_konecny.pdf
- [2] HLAVÁČ, Jan. *Základy technologie silikátů.* 2. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1988.
- [3] LÁNÍK, Jaroslav a Miloš CIKRT. *Dvě tisíciletí vápenictví a cementárenství v českých zemích.* Praha: Svaz výrobců cementu a vápna Čech, Moravy a Slezska, 2001.
- [4] SVOBODA, Luboš a kolektiv. *Stavebí hmoty* [online]. 3. Praha, 2013 [cit. 2017-04 24]. ISBN 978-80-260-4972-2. Dostupné z <http://people.fsv.cvut.cz/~svobodal/sh/SH3v1.pdf>
- [5] HEWITT, Geoffrey Frederick, Theodore Reginald BOOT a GL SHIRES. *Process Heat Transfer.* USA: Boca Raton, 1994.
- [6] GREMLICH, Jan a Jiří JUNGSMANN. *ODPADOVÉ FÓRUM: PŘÍNOS CEMENTÁREN K ČISTOTĚ OVZDUŠÍ V ČR* [online]. Praha: České ekologické manažerské centrum, 2016, (1) [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/uploads.mangoweb.org/sharedprod/svcement.cz/uploads/2016/06/emise-cementaren-2016.pdf>
- [7] *Legislativa a metodické pokyny* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/legislativa_metodicke_pokyny_ovzdusi
- [8] LAPČÍK, Vladimír. *Oceňování antropogenních vlivů na životní prostředí.* Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2440-6.
- [9] *40 let závodu.* Česká Republika: HeidelbergCement, 2008.

[10] *PŘÍRUČKA TECHNOLOGA: SUROVINY — VÝROBA — VLASTNOSTI BETON*. Česká Republika: HeidelbergCement, 2015.

[11] *Monitoring trvalého provozu spoluspalování paliv, tepelného zpracování odpadů a jejich vliv na životní prostředí*. 1. Ostrava: Zdravotní ústav, 2015.

[12] ROBERT, Skeřil. *VYHODNOCENÍ KVALITY OVZDUŠÍ V ROCE 2015: ODBORNÁ ZPRÁVA*. Český Hydrometeorologický Ústav. 2016.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

CO_2	oxid uhličitý
NO_x	oxidy dusíku
SO_x	oxidy síry
SO_2	oxid siřičitý
Fe_2O_3	oxid železitý
Al_2O_3	oxid hlinitý
SiO_2	oxid křemičitý
CaO	oxid vápenatý
CaSO_4	síran vápenatý
Si	křemík
Ca	vápník
Al	hliník
CaF_2	fluorid vápenatý
CO	oxid uhelnatý
CaSO_3	siřičitan vápenatý
SO_3	oxid sírový
H_2S	sulfan
O_2	kyslík

TK	těžké kovy
Zn	zinek
HF	kyselina fluorovodíková
HCl	kyselina chlorovodíková
PCB	polychlorované bifenyly
PAH	polycyklické aromatické uhlovodíky
VOC	těkavé organické látky
EU	Evropská unie
ČR	Česká republika
Pa	pascal
km	kilometr
mm	milimetr
m	metr
hm. %	hmotnostní procenta
ppm parts	per million
kPa	kilopascal
m ³	metr krychlový
mg	miligram

Nm ³	normativní metr krychlový
μm	mikrometr
ug	mikrogram
TTO	topné oleje včetně mazu
WID	směrnice o spalování odpadu
EO	elektrostatický odlučovač
BREF	referenční dokument nazývaný: Průmyslová odvětví výroby cementu, vápna a oxidu hořečnatého
BAT	nejlepší dostupné techniky
PM	polétavý prach
TZL	tuhé znečišťující látky
IPPC	integrovaná prevence a omezování znečištění
IP	integrované povolení
KÚ	katastrální úřad
OŽP	ochrana životního prostředí
PTFE	polytetrafluorethylen
PE	polyethylen
PET	Polyethylentereftalát
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav

SNCR selektivní nekatalytická redukce

SCR selektivní katalytická reakce

ČSN EN evropská norma

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1: provozní hodiny rotačních pecí	str. 37
--	---------

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1: Směr větru za rok 2010.....	str. 44
Graf č. 2 Směr větru za rok 2011.....	str. 44
Graf č. 3 Směr větru za rok 2012.....	str. 45
Graf č. 4 Směr větru za rok 2013.....	str. 45
Graf č. 5 Směr větru za rok 2014.....	str. 46

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Naměřené hodnoty emisí
Příloha č. 2: Naměřené hodnoty emisí, imisí a směr větru
Příloha č. 3: Směr větru za rok 2010 znázorněný po jednotlivých měsících
Příloha č. 4: Směr větru za rok 2011 znázorněný po jednotlivých měsících
Příloha č. 5: Směr větru za rok 2012 znázorněný po jednotlivých měsících
Příloha č. 6: Směr větru za rok 2013 znázorněný po jednotlivých měsících
Příloha č. 7: Směr větru za rok 2014 znázorněný po jednotlivých měsících